



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS
2017:6

ILMANLAADUN MITTAUSOHJE 2017



Raportteja 2017:6

ILMANLAADUN MITTAUSOHJE 2017

Birgitta Komppula
Jari Waldén
Kaisa Lusa
Katriina Kyllönen
Helena Saari
Mika Vestenius
Jatta Salmi
Jenni Latikka

ILMATIETEEN LAITOS

Helsinki 31.10.2017

Julkaisija Ilmatieteen laitos, (Erik Palménin aukio 1)
PL 503, 00101 HelsinkiTekijät
Birgitta Komppula, Jari Waldén, Kaisa
Lusa, Katriina Kyllönen, Helena Saari,
Mika Vestenius, Jatta Salmi ja Jenni
LatikkaToimeksiantaja
Ympäristöministeriö

Nimeke

Ilmanlaadun mittausohje 2017

Tiivistelmä

Suomen ilmanlaadun seurantaan säätelevät suurelta osin EU:n ilmanlaatua koskevat direktiivit. Ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia säädellään sitovien raja-arvojen ja tavoitearvojen avulla. Myös kansalliset ohjeavrot ovat edelleen voimassa ja niitä käytetään suunnittelun tukena, mutta niiden merkitys on vähenemässä. Raja-arvoja valvoviksi asemiksi kutsutaan niitä ilmanlaadun mittausasemia, jotka täyttävät ilmanlaatudirektiivien kriteerit ja joiden pitoisuustiedot toimitetaan EU:lle. Raja-arvopitoisuuksia valvovien mittausasemien lisäksi ilmanlaatua seurataan mittausverkoissa laajalti erilaisista paikallisista tarpeista, mikä on ollut aikanaan lähtökohta useimpien ilmanlaatumittausten aloittamiselle. Ilmanlaatua seurataan ensisijaisesti hyvän ilmanlaadun turvaamiseksi paikallisille asukkaille ja ympäristölle. Ilmanlaatua mitataan lisäksi muun muassa yksittäisten päästölähteiden vaikutusten arvioimiseksi, asukkaiden valitusten vuoksi, ympäristölupaehtojen täyttämiseksi sekä jatkuvan ilmanlaadun seurannan tarvetta arvioitaessa.

Tämä ohje koskee ilmanlaadun mittaamista osana ilmanlaadun seurantaan. Ohjeessa käsitellään ilmanlaatulainsäädäntöä, mittaustarpeen arviointia, mittausten suunnittelua, tekemistä ja laadunvarmennustoimenpiteitä, laatu järjestelmän sisältöä, raportointia sekä tiedottamista. Ohjeen tarkoituksena on kehittää mittausten laatua, luotettavuutta, edustavuutta ja vertailtavuutta sekä luoda edellytyksiä ilmanlaadun mittaustulosten monipuoliselle hyödyntämiselle. Ilmatieteen laitos päivitti ilmanlaadun mittausohjetta edellisen kerran vuonna 2004 ja nyt mittausohjetta on edelleen laajennettu ja päivitetty ajan tasalle.

Luokitus (UDK)
502.3:613.15Asiasanat
Ilmanlaatu, ilmanlaadun seuranta,
ilmanlaadun mittaaminen, mittalaitteet,
laadunvarmistusISSN ja avainnimike
0782-6079ISBN
978-952-336-033-4 (pdf)Kieli
suomiSivumäärä
120

SISÄLLYSLUETTELO

SELITTEET KÄYTETYILLE YKSIKÖILLE JA LYHENTEILLE	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Tausta	7
1.2 Ilmansuojelun tavoitteet ja mittauksen merkitys.....	8
1.3 Ohjeen raja.....	9
2 MITTAUKSET ILMANLAADUN SEURANNASSA.....	9
2.1 Lainsäädäntö.....	9
2.1.1 Yleiset periaatteet.....	9
2.1.2 Ilmanlaadun raja-arvot ja kriittiset tasot.....	11
2.1.3 Ilmanlaadun tavoitearvot.....	12
2.1.4 Tiedotus- ja varoituskynnykset.....	13
2.1.5 Altistumisen vähennystavoite ja pitoisuuskatto	13
2.1.6 Ilmanlaadun ohjearvot	14
2.1.7 Ilmanlaadun arviointikynnykset.....	15
2.2 Mittaukset osana ilmanlaadun seurantaa.....	17
2.2.1 Ilmanlaadun seurantamenetelmät.....	17
2.2.2 Ilmanlaadun mittaustarve ja mittaustavoitteet	18
2.2.3 Ilmanlaadun mittausverkon suunnittelu.....	20
2.2.4 Mittausasemien luokittelu, edustavuus ja sijoituskriteerit	23
3 MITTAAMINEN.....	27
3.1 Mittausmenetelmät	27
3.1.1 Vaatimukset ja standardit.....	27
3.1.2 Kaasumaisten yhdisteiden vertailumenetelmät	28
3.1.3 Hiukkasten vertailumenetelmät.....	29
3.1.4 Muiden ilman epäpuhtauksien vertailumenetelmät	33
3.2 Mittalaitteiden tyyppihyväksynät	35
3.3 Mittausmenetelmän vastaavuuden osoittaminen	35
3.4 Muut kuin vertailumenetelmät	36
3.4.1 Kaasumaisten yhdisteiden mittausmenetelmät	36
3.4.2 Jatkuvatoimiset hiukkasanalysaattorit	37
3.4.3 Sensorit	38
3.5 Meteorologinen mittausaineisto	40
3.6 Laitetila ja näytteenotto.....	40
3.7 Mittaustiedon keruu	42

4	LAADUNVARMISTUS	43
4.1	Yleistä	43
4.2	Laatujärjestelmä	43
4.2.1	Laatukäsikirja.....	44
4.2.2	Dokumentointi.....	44
4.2.3	Auditoinnit ja laatujärjestelmän katselmukset.....	45
4.2.4	Henkilöstön pätevyys.....	45
4.2.5	Laatujärjestelmän poikkeamat	45
4.3	Laatujärjestelmän tekniset vaatimukset	46
4.3.1	Seurantamenetelmien laatutavoitteet.....	46
4.3.2	Menettelytavat mittauspaikan valinnalle.....	46
4.3.3	Mittausmenetelmät ja niiden validointi.....	46
4.3.4	Mittausten suorittaminen.....	47
4.3.5	Mittaustietojen keruu.....	47
4.3.6	Jäljitetyt kalibroinnit.....	47
4.3.7	Mittauslaitteet ja niiden ylläpito ja huolto	48
4.3.8	Mittaustulosten korjaus ja validointi.....	48
4.3.9	Mittaustulosten tallennus	48
4.3.10	Tulosten raportointi ja tiedotus	49
4.3.11	Vertailumittaukset	49
4.4	Laatutavoitteet.....	49
4.5	Kalibroinnit, jäljitettävyys ja mittauksen ylläpito.....	52
4.5.1	Yleistä.....	52
4.5.2	Jäljitettävyys	52
4.5.3	Analysaattoreiden kalibrointi kaasumittauksissa	54
4.5.4	Analysaattoreiden tarkistukset kaasumittauksissa	59
4.5.5	Huoltotoimenpiteet.....	63
4.5.6	Jatkuvatoimisten hiukkaslaitteiden laadunvarmennustoimet	64
4.5.7	Virtausmittaukset	66
4.6	Mittausepävarmuuden määrittäminen.....	67
4.6.1	Mittausepävarmuuden laskeminen	70
4.7	Vertailumittaukset	71
5	TULOSTEN KÄSITTELY JA RAPORTOINTI	73
5.1	Mittausarvojen korjaus ja validointi	73
5.2	Mittaustulosten käsittely	74
5.2.1	Merkitsevien numeroiden määrä ja pyöristäminen	74
5.2.2	Pitoisuuksien yksiköt ja vertailuolosuhteet	75
5.2.3	Pitoisuuskeskiarvojen laskeminen	76
5.2.4	Tunnuslukujen laskeminen	78

5.3	Raportointi.....	79
5.3.1	<i>Vuosi- ja osavuosisraportit.....</i>	79
5.3.2	<i>Tietojen raportointi ympäristönsuojelun tietojärjestelmään ja EU:n AIRBASE-ilmanlaatatietokantaan</i>	80
6	TIEDOTTAMINEN	81
6.1	Yleisön tiedottaminen ja varoittaminen	81
6.2	Ilmansuojelusuunnitelmat ja lyhyen aikavälin toimintasuunnitelmat ja niistä tiedottaminen.....	82
6.3	Ilmanlaatuindeksi.....	83
6.4	Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaatu-sivusto	84
6.5	Avoin data	87
	VIITTEET	88
	LIITELUETTELO.....	91

SELITTEET KÄYTETYILLE YKSIKÖILLE JA LYHENTEILLE

Yksiköt:

µm	mikrometri = millimetrin tuhannesosa
µg/m ³	mikrogrammaa (= gramman miljoonasosa) kuutiometrissä ilmaa (pitoisuus)
ng/m ³	nanogrammaa (=gramman miljardisosa) kuutiometrissä ilmaa (pitoisuus)
ppm	parts per million (miljoonasosa) (pitoisuus)
ppb	parts per billion (miljardisosa) (pitoisuus)
µmol/mol	mikromoolia (moolin miljoonasosa) moolissa, µmol/mol = ppm (pitoisuus)
nmol/mol	nanomoolia (moolin miljardisosa) moolissa, nmol/mol = ppb (pitoisuus)
°C	Celsiusaste (lämpötila)
K	Kelvinaste (lämpötila), 293 K = 20 °C
atm	atmosfääri, paineen yksikkö, 1 atm = normaali-ilmakehän paine
kPa	kilopascal, paineen yksikkö, 101,3 kPa = 1 atm
g/mol	moolimassan yksikkö

Lyhenteet:

PM ₁₀	hengitettävät hiukkaset = alle 10 µm:n kokoiset hiukkaset
PM _{2,5}	pienhiukkaset = alle 2,5 µm:n kokoiset hiukkaset
TSP	<u>T</u> otal <u>S</u> uspended <u>P</u> articles = kokonaisuutenaan kuuluvat hiukkaset
NO	typpimonoksidi
NO ₂	typpidioksidi
NO _x	typen oksidit (NO ja NO ₂ yhteismäärä ilmoitettuna NO ₂ :na)
SO ₂	rikkidioksidi
TRS	<u>T</u> otal <u>R</u> educed <u>S</u> ulphur = haisevien rikkiyhdisteiden kokonaismäärä
PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbons, Polysykliset aromaattiset hiilivedyt
VOC	Volatile organic compounds, Herkästi haihtuvat hiilivedyt
CEN	European Committee for Standardisation
ISO	International Standardisation Organisation
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
CIPM	Comité International des Poids et Mesures
SI	Système international d'unités, kansainvälinen yksikköjärjestelmä
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe, EU-direktiivi
IPR	Implementing Provisions on Reporting, 2011/850/EU
FAIRMODE	The Forum for Air quality Modelling, EU:n mallintamisverkosto
EMEP	The European Monitoring and Evaluation Programme
GAW	Global Atmosphere Watch
EN	European Norm, Eurooppalainen standardi
AQUILA	Air quality reference laboratories, EU:n kansallisten vertailulaboratorioiden muodostama yhteistyöelin
US EPA	United States Environmental Protection Agency
EEA	European Environment Agency
AIRBASE	European air quality database

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Euroopan unionin ilmanlaatuun liittyvät säädökset ovat vaikuttaneet merkittävästi ilmanlaadun seurantaan Suomessa 1990-luvulta lähtien. Ilmanlaadun arviointia ja hallintaa koskevaa puitedirektiiviä (96/62/EY)¹ seurasivat ensimmäinen, toinen, kolmas ja neljäs tytärdirektiivi (1999/30/EY², 2000/69/EY³, 2002/3/EY⁴ ja 2004/107/EY⁵). Näiden tytärdirektiivien avulla säädettiin rikkidioksidin, typen oksidien, lyijyn, hengitettävien hiukkasten (PM₁₀), bentseenin, hiilimonoksidin, otsonin, arseenin, kadmiumin, nikkelin ja polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH-yhdisteet) enimmäispitoisuuksista ulkoilmassa. Suomessa direktiivit pantiin kansallisesti täytäntöön ympäristönsuojelulalla (86/2000), joka sittemmin on korvattu lailla (527/2014), sekä ilmanlaadusta annetulla valtioneuvoston asetuksella (711/2001), alailmakehän otsonista annetulla valtioneuvoston asetuksella (783/2003) sekä ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä annetulla valtioneuvoston asetuksella (164/2007).

Vuonna 2011 annetulla valtioneuvoston asetuksella ilmanlaadusta (38/2011) yhdistettiin edellä mainitut ilmanlaatu- ja otsoniasetukset ja pantiin täytäntöön ilmanlaadusta ja sen parantamisesta annettu direktiivi (2008/50/EY⁶). Uutena komponenttina sääntelyn piiriin tulivat pienhiukkaset (PM_{2,5}). Arseenia, kadmiumia, nikkeliä, elohopeaa ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksia koskeva ns. metalliasetus (164/2007) jäi voimaan erillisenä asetuksena.

Vuonna 2017 ilmanlaatua koskevat valtioneuvoston asetukset kumottiin ja korvattiin uusilla asetuksilla, jotta asetusten sisältö vastaisi täsmällisemmin komission direktiiviä 2015/1480/EU⁷. Uudessa ilmanlaatuasetuksessa (Vna 79/2017) ja arseenia, kadmiumia, nikkeliä, elohopeaa ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksia koskevassa ns. metalliasetuksessa (113/2017) muutokset koskevat lähinnä asetusten liitteitä. Myös ympäristönsuojelulakiin (YSL 527/2014) on tehty muutoksia

¹ Neuvoston direktiivi 96/62/EY, annettu 27 päivänä syyskuuta 1996, ilmanlaadun arvioinnista ja hallinnasta.

² Neuvoston direktiivi 1999/30/EY, annettu 22 päivänä huhtikuuta 1999, ilmassa olevien rikkidioksidin, typpidioksidin ja typen oksidien, hiukkasten ja lyijyn pitoisuuksien raja-arvoista.

³ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/69/EY, annettu 16 päivänä marraskuuta 2000, ilmassa olevan bentseenin ja hiilimonoksidin raja-arvoista.

⁴ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/3/EY, annettu 12 päivänä helmikuuta 2002, ilman otsonista.

⁵ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/107/EY, annettu 15 päivänä joulukuuta 2004, ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä.

⁶ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/50/EY, annettu 21 päivänä toukokuuta 2008, ilmanlaadusta ja sen parantamisesta.

⁷ Komission direktiivi (EU) 2015/1480, annettu 28 päivänä elokuuta 2015, ilmanlaadun arvioinnissa käytettäviä vertailumenetelmiä, tietojen validointia ja näytteenottoa paikkojen sijaintia koskevien sääntöjen vahvistamista koskevien Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivien 2004/107/EY ja 2008/50/EY useiden liitteiden muuttamisesta.

ilmanlaadusta ja sen parantamisesta annetun direktiivin 2008/50/EY täytäntöönpanon täydentämiseksi.

1.2 Ilmansuojelun tavoitteet ja mittausten merkitys

Ilmansuojelun tavoitteena on ehkäistä liikenteestä, teollisesta toiminnasta, energiantuotannosta, kiinteistökohtaisesta lämmityksestä ja muusta toiminnasta aiheutuva ilman pilaantuminen ja ihmisten altistuminen korkeille ilman epäpuhtauspitoisuuksille. Ilman pilaantumisella tarkoitetaan sellaista ihmisen toiminnasta johtuvaa ilman koostumuksen tai sen ominaisuuksien muuttumista, josta joko välittömästi tai välillisesti aiheutuu terveyshaittaa, haittaa luonnolle ja sen toiminnoille tai yleistä viihtyisyyden vähentymistä.

Ilmanlaatudirektiivissä ja muussa ilmanlaatuun liittyvässä EU- lainsäädännössä periaatteena on, että ilmansuojelun tavoitteiden mukaista on säilyttää nykyinen ilmanlaatu siellä, missä se on laadultaan hyvää ja parantaa ilmanlaatua muualla. Ilmanlaatuasetuksen tarkoituksena on terveyshaittojen ehkäiseminen alueilla, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä ja joilla ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille. Tavoitteena on suojella myös kasvillisuutta ja ekosysteemejä. Periaatteet ilmenevät esimerkiksi seuraavista EU-lainsäädäntöön perustuvista asetustason säännöksistä:

- Pitoisuuksien alittaessa raja-arvot, pitoisuudet on pidettävä raja-arvojen alapuolella ja pyrittävä mahdollisuuksien mukaan estämään pitoisuuksien nouseminen.
- Pitoisuuksien alittaessa otsonin tavoitearvot, otsonipitoisuudet on pidettävä tavoitearvojen alapuolella ja pyrittävä mahdollisuuksien mukaan estämään pitoisuuksien nouseminen.
- Pitoisuuksien alittaessa otsonin pitkän ajan tavoitteet, otsonipitoisuudet on pidettävä pitkän ajan tavoitteiden alapuolella ja pyrittävä estämään pitoisuuksien nouseminen, siinä määrin kuin se on mahdollista ottaen huomioon otsonin aiheuttaman ilman pilaantumisen rajat ylittävä luonne ja meteorologiset olosuhteet.
- Pitoisuuksien alittaessa metalliasetuksessa säädetyt tavoitearvot, pitoisuudet on pyrittävä pitämään tavoitearvojen alapuolella ja mahdollisuuksien mukaan estämään pitoisuuksien nouseminen.

Ilmanlaadun mittauksilla on suuri merkitys, sillä ilmanlaatuasetuksen raja-arvojen, tavoitearvojen sekä tiedotus- ja varoituskynnysten ylittymistä arvioidaan mittausten perusteella. Raja-arvojen ylittyessä tai ollessa vaarassa ylittyä kunnan on laadittava ja toimeenpantava ilmansuojelusuunnitelma ja tarvittaessa harkinnasta riippuen lyhyen aikavälin toimintasuunnitelma, joilla raja-arvojen ylittyminen estetään säädetyssä määrääjässä. Otsonin tavoitearvoihin ja pitkän ajan tavoitteisiin pyritään ensisijaisesti valtakunnallisin ja kansainvälisin toimin, koska paikallisten toimien vaikuttavuus otsonipitoisuuksiin on vähäinen. Ilmanlaadun mittaukset ovat keskeisessä asemassa myös tiedotettaessa paikallisesta ilmanlaatutilanteesta. Ilmanlaatutietojen on oltava yleisesti saatavilla, ja raja- ja tavoitearvojen sekä tiedotus- ja varoituskynnysten ylityksistä on tiedotettava väestölle aktiivisesti.

1.3 Ohjeen rajaus

Ohje on rajattu käsittelemään vain ilmanlaadun mittauksia. Ohje on tarkoitettu ensisijaisesti ilmanlaatua koskeissa valtioneuvoston asetuksissa (79/2017 ja 113/2017) mainittujen epäpuhtauksien mittauksiin. Ohje on tarkoitettu noudatettavaksi kaikissa ilmanlaatudirektiivien mukaisissa seurantamittauksissa ja sitä suositellaan käytettäväksi myös muissa ilmanlaadun mittauksissa.

2 MITTAUKSET ILMANLAADUN SEURANNASSA

2.1 Lainsäädäntö

2.1.1 Yleiset periaatteet

Ympäristönsuojelulla pyritään ehkäisemään ympäristön pilaantumista ja säädetään siihen liittyviä velvoitteita ja määräyksiä. Nykyinen ympäristönsuojelulaki (YSL 527/2014) ja valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta (Vna 713/2014) astuivat voimaan vuonna 2014.

Ympäristönsuojelulain tavoitteena on muun muassa:

- ehkäistä ympäristön pilaantumista sekä vähentää päästöjä ja pilaantumisesta aiheutuvia haittoja
- turvata terveellinen, viihtyisä ja monimuotoinen ympäristö, tukea kestävää kehitystä ja torjua ilmastonmuutosta
- edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä sekä vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta
- tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja huomioon ottamista kokonaisuutena
- parantaa kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöä koskevaan päätöksentekoon.

Ympäristönsuojelulaki edellyttää muun muassa, että kunnan on käytettävissä olevin keinoin turvattava hyvä ilmanlaatu alueellaan. Kunta huolehtii ympäristön tilan seurannasta, mukaan lukien ilmanlaadun seuranta, paikallisten olojen edellyttämässä laajuudessa. Kunnilla on myös velvollisuus ryhtyä tarpeellisiin toimiin, jos ilmanlaadun raja-arvot tai tavoitearvot ylittyvät tai ovat vaarassa ylittyä. Raja-arvojen ylittyessä tai ollessa vaarassa ylittyä kunnan tulee laatia ilmansuojelusuunnitelma ilmanlaadun turvaamiseksi ja tarvittaessa antaa muiden kuin luvanvaraisten toimintojen rajoittamista ja keskeyttämistä koskevia määräyksiä.

Toiminnanharjoittajalla on velvollisuus huolehtia ympäristön pilaantumisen ehkäisemisestä ja tässä tarkoituksessa oltava riittävästi selvillä toiminnan ympäristövaikutuksista. Jos kyse on rekisteröitävästä toiminnasta, kuten pienestä energiantuotantolaitoksesta, rajoitetaan toiminnan päästöjä ilmaan suoraan asetustason sääntelyllä (valtioneuvoston asetus toiminnan ympäristönsuojelu-

vaatimuksista). Asetus sisältää myös esimerkiksi toiminnan tarkkailuvelvoitteita. Erillisiä viranomaismääräyksiä ei anneta, ja jälkivalvonnassa valvotaan, noudatetaanko asetuksen sääntelyä. Jos kyse on luvanvaraisesta toiminnasta, rajoitetaan toiminnan päästöjä ympäristölupa- ja sisällytettävillä lupamääräyksillä. Luvassa annetaan myös tarvittavat määräykset toiminnan vaikutusten seurannasta ja valvonnasta. Ympäristölupaviranomainen voi ympäristöluvassa määrätä toimijat tarkkailemaan yhdessä toimintojensa vaikutuksia (yhteistarkkailu) tai hyväksyä toiminnan tarkkailemiseksi osallistumisen alueen ilmanlaadun seurantaan.

Koska ympäristönsuojelulain mukaan kunta on velvollinen huolehtimaan paikallisten olojen edellyttämästä tarpeellisesta ympäristön tilan seurannasta, on seuranta toteutettu useimmiten kuntakohtaisesti. Seuranta voidaan toteuttaa myös kuntien välisenä yhteistyönä. EU-lainsäädäntöön perustuva ilmanlaatuasetus kannustaa kunnat ilmanlaadun seurannassa myös laajempaan alueelliseen yhteistyöhön määrittelemällä epäpuhtauksille seuranta-alueet ja antamalla määräyksiä ilmanlaadun seurannan järjestämisestä seuranta-alueella. Seuranta-alueilla tarkoitetaan yhden tai useamman elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY-keskuksen) toimialuetta tai väestökeskittymää, johon voi kuulua yksi tai useampi kunta ja jonka asukasluku on vähintään 250 000 asukasta. Suomessa väestökeskittymällä tarkoitetaan pääkaupunkiseutua (HSY-alue).

Ilmanlaatuasetuksen (79/2017) mukaan ELY-keskuksen tulee huolehtia siitä, että sen alueella ilmanlaadun seuranta on järjestetty hyvin, ja että muun muassa mittausasemien määrä on riittävä niillä seuranta-alueilla, joilla jatkuvat mittaukset ovat pakollisia. Alueellisen yhteistyön tarkoituksena on ensisijaisesti kehittää tiedonvaihtoa kuntien ja ELY-keskusten välillä sekä sopia yhteisesti menettelytavoista ja, mikäli mahdollista, seurannan sisällöstä ja kehittämisestä. ELY-keskusten tehtävänä on ohjata seurantaa yleisellä tasolla, aktivoida ja kannustaa kuntia yhteistyöhön sekä tehdä ehdotuksia seurannan järjestämiseksi lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Kunnat kuitenkin vastaavat seurannan toteutuksesta.⁸

Ympäristönsuojelulain mukaan lain täytäntöönpanon edellyttämät mittaukset, testaukset, selvitykset ja tutkimukset on tehtävä pätevästi, luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin. Lain mukaan Ilmatieteen laitos huolehtii ilmanlaadun mittausjärjestelmien (menetelmät, laitteet, verkostot ja laboratoriot) vaatimuksenmukaisuuden ja mittaustulosten tarkastamisesta. Ilmatieteen laitos on toiminut 1.10.2001 alkaen ilmanlaadun kansallisena vertailulaboratoriona ilmanlaatumittausten laadunvarmennukseen liittyvissä tehtävissä sekä huolehtinut kansallisten mittanormaalien ylläpidosta ja niiden jäljitettävyydestä kansainvälisiin primaarinormaaleihin sekä kansallisten vertailumittausten järjestämisestä.

⁸ Aluehallintouudistuksen ja ELY-keskusten lakkauttamisen seurauksena ilmanlaadun seuranta-alueet tulevat muuttumaan. Tämä tulee edellyttämään mittausohjeen päivittämistä.

2.1.2 Ilmanlaadun raja-arvot ja kriittiset tasot

Ilmanlaatuasetuksessa annetut ilmanlaadun raja-arvot määrittävät suurimmat hyväksyttävät ilman epäpuhtauksien pitoisuudet. Ilmansuojeluviranomaisten on käytettävissä olevin keinoin estettävä raja-arvojen ylittyminen. Jos raja-arvo ylittyy, on siitä tiedotettava viipymättä yleisölle. Raja-arvot on annettu rikkidioksidin, typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, lyijyn, hiilimonoksidin ja bentseenin ulkoilmapitoisuuksille. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi alueilla, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä ja joilla ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille, pitoisuudet ulkoilmassa eivät saa ylittää taulukossa 2.1 esitettyjä raja-arvoja.

Taulukko 2.1 Raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi

Epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
Rikkidioksidi (SO_2)	1 tunti	350	24
	24 tuntia	125	3
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200	18
	Kalenterivuosi	40	-
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	50 ¹⁾	35
	Kalenterivuosi	40 ¹⁾	-
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	Kalenterivuosi	25	-
Lyijy (Pb)	Kalenterivuosi	0,5 ¹⁾	-
Hiilimonoksidi (CO)	8 tuntia ²⁾	10 000	-
Bentseeni (C_6H_6)	kalenterivuosi	5	-

¹⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

²⁾ Vuorokauden korkein 8 tunnin keskiarvo, joka valitaan tarkastelemalla 8 tunnin liukuvia keskiarvoja. Kukin kahdeksan tunnin jakso osoitetaan sille päivälle, jona jakso päättyy.

Epäpuhtauden tunti- tai vuorokausiraja-arvo on ylittynyt, mikäli kalenterivuoden mittausaineistossa on raja-arvon numeroarvon ylittäviä tunti- tai vuorokausiarvoja enemmän kuin taulukossa 2.1. ilmoitettu sallittujen ylitysten määrä. Vuosikeskiarvoille ja hiilimonoksidin vuorokauden korkeimmalle 8 tunnin keskiarvolle ei sallita ylityksiä.

Kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi rikkidioksidin ja typen oksidien ulkoilmapitoisuuksille on annettu kriittiset tasot, joita sovelletaan laajoilla maa- ja metsätalousalueilla ja luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvoa ja talvikauden (1.10.–31.3.) keskiarvoa koskeva kriittinen taso on $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Typenoksidipitoisuuden vuosikeskiarvoa koskeva kriittinen taso on $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.1.3 Ilmanlaadun tavoitearvot

Ilmanlaadun tavoitearvot ovat luonteeltaan vähemmän sitovia kuin raja-arvot, mutta hyvää ilmanlaatua arvioidaan myös niiden perusteella. Tavoitearvojen avulla säädellään otsonin, arseenin, kadmiumin, nikkelin ja polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH-yhdisteiden) pitoisuuksia (*Vna 79/2017*, *Vna 113/2017*).

Otsonipitoisuuksille on annettu tavoitearvot ja pitkän ajan tavoitteet terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi sekä kasvillisuuden suojelemiseksi (Taulukot 2.2 ja 2.3). AOT40:llä (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 ppb ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$) tarkoitetaan otsonin kuormitusta, joka ilmaistaan $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) ylittävien tuntipitoisuuksien ja $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erotuksen kumulatiivisena summana laskettuna päivittäisistä tuntiarvoista kasvukaudella touko-heinäkuussa.

Taulukko 2.2 Otsonin tavoitearvot.

Peruste	Keskiarvon laskenta-aika tai tilastollinen tunnusluku	Tavoite vuodelle 2010 (293 K, 101,3 kPa)
Terveyshaittojen ehkäiseminen ja vähentäminen	8 tuntia ¹⁾	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka saa ylittyä enintään 25 päivänä kalenterivuodessa kolmen vuoden keskiarvona
Kasvillisuuden suojeleminen	AOT40 ²⁾	$18\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ viiden vuoden keskiarvona

¹⁾ Vuorokauden korkein 8 tunnin keskiarvo, joka valitaan tarkastelemalla 8 tunnin liukuvia keskiarvoja. Kukin kahdeksan tunnin jakso osoitetaan sille päivälle, jona jakso päättyy.

²⁾ AOT40 lasketaan 1.5.–31.7. välisen ajan tuntiarvoista, jotka mitataan klo 9.00–21.00 välisenä aikana Suomen normaaliaikaa, joka on klo 10.00–22.00 Suomen kesäaikaa.

Taulukko 2.3 Otsonin pitkän ajan tavoitteet.

Peruste	Keskiarvon laskenta-aika tai tilastollinen tunnusluku	Pitkän ajan tavoite (293 K, 101,3 kPa)
Terveyshaittojen ehkäiseminen ja vähentäminen	8 tuntia	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kalenterivuoden aikana
Kasvillisuuden suojeleminen	AOT40	$6\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$

Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja bentso(a)pyreenin tavoitearvot on esitetty taulukossa 2.4. Terveyshaittojen ja ympäristöön kohdistuvien haittojen ehkäisemiseksi on tavoitteena, että pitoisuudet eivät ylitä tavoitearvoja. Bentso(a)pyreeniä käytetään PAH-yhdisteiden syöpävaarallisuuden merkkiaineena.

Taulukko 2.4 Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja bentso(a)pyreenin tavoitearvot.

Epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Tavoitearvo (ng/m ³) ¹⁾
Arseeni	Kalenterivuosi	6
Kadmium	Kalenterivuosi	5
Nikkeli	Kalenterivuosi	20
Bentso(a)pyreeni	Kalenterivuosi	1

¹⁾ Pitoisuus määritetään hengitettävien hiukkasten massapitoisuudesta kalenterivuoden keskiarvona. Tulokset ilmoitetaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

2.1.4 Tiedotus- ja varoituskynnykset

Ilmanlaatuasetuksessa on säädetty varoituskynnykset rikkidioksidille, typpidioksidille ja otsonille. Rikkidioksidin varoituskynnys on 500 µg/m³ ja typpidioksidin varoituskynnys on 400 µg/m³ mitattuna kolmen perättäisen tunnin aikana. Otsonin tiedotuskynnys on 180 µg/m³ ja varoituskynnys 240 µg/m³ tuntikeskiarvona. Jos tiedotus- tai varoituskynnys ylittyy tai sen ennustetaan ylittyvän, yleisölle on tiedotettava ilman epäpuhtauksien aiheuttamasta vaarasta.

2.1.5 Altistumisen vähennystavoite ja pitoisuuskatto

Pienhiukkasten altistumisen vähennystavoitteen laskennassa ja pitoisuuskaton toteutumisen seurannassa käytetään keskimääräistä altistumisindikaattoria.

Altistumisindikaattori lasketaan pääkaupunkiseudulla sijaitsevan kaupunkitaustaseman (Kallio) mittaustulosten kolmen kalenterivuoden liukuvana keskiarvona siten, että:

1. vuoden 2010 keskimääräinen altistumisindikaattori on vuosien 2009–2011 pitoisuuskeskiarvo;
2. vuoden 2015 keskimääräinen altistumisindikaattori on vuosien 2013–2015 pitoisuuskeskiarvo;
3. vuoden 2020 keskimääräinen altistumisindikaattori on vuosien 2018–2020 pitoisuuskeskiarvo.

Kansallinen altistumisen vähennystavoite pienhiukkasille vuosina 2010–2020 on nolla prosenttia, koska vuoden 2010 keskimääräinen altistumisindikaattori oli alle 8,5 µg/m³. Altistumisen vähennystavoitteen arvioinnissa käytettävä keskimääräinen altistumisindikaattori saa olla kuitenkin enintään 8,5 µg/m³ kauden 2010–2020 aikana. Kyse on säännöksestä, joka on tarpeen sen varmistamiseksi, että pienhiukkaspitoisuudet eivät nouse. Kansallinen altistumisen pitoisuuskatto pienhiukkasille on 31 päivästä joulukuuta 2015 alkaen 20 µg/m³.

2.1.6 Ilmanlaadun ohjearvot

Valtioneuvoston päätöksen (480/1996) ohjearvot on otettava huomioon maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen ohjauksessa ja ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja lupakäsittelyssä. Ohjearvojen lähtökohtana on terveydellisten ja luontoon kohdistuvien haittojen ehkäiseminen. Ohjearvot on annettu rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden, kokonaisleijuma, hengitettävien hiukkasten, typpidioksidin ja hiilimonoksidin pitoisuuksille (taulukko 2.5).

Taulukko 2.5. Ohjearvot terveydellisten haittojen ehkäisemiseksi

Epäpuhtaus	Ohjearvo (20 °C, 1 atm)	Tilastollinen määrittely
Hiilimonoksidi	20 mg/m ³	Tuntiarvo
	8 mg/m ³	Tuntiarvojen liukuva 8 tunnin keskiarvo
Typpidioksidi	150 µg/m ³	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 µg/m ³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi	250 µg/m ³	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80 µg/m ³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hiukkaset, kokonaisleijuma (TSP)	120 µg/m ³ ¹⁾	Vuoden vuorokausiarvojen 98. prosenttipiste
	50 µg/m ³ ¹⁾	Vuosikeskiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀)	70 µg/m ³ ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaismäärä (TRS)	10 µg/m ³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo TRS ilmoitetaan rikkinä

¹⁾ Hiukkaspitoisuudet ilmoitetaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Valtioneuvoston päätöksessä on lisäksi annettu rikkilaskeumalle pitkän ajan tavoite, jonka mukaan rikkilaskeuman vuosiarvo saa olla enintään 0,3 g/m². Tavoitteena on ensisijaisesti kasvillisuuteen ja muuhun luontoon kohdistuvien haittojen ehkäiseminen metsätalousalueilla.

2.1.7 Ilmanlaadun arviointikynnykset

Seuranta-alueiden ilmanlaadun seurantatarpeen arviointia varten ilman epäpuhtauksille on määritetty ylemmät ja alemmat arviointikynnykset, jotka ovat tiettyjä prosenttiosuuksia raja-arvoista, tavoitearvoista tai kriittisistä tasoista (taulukko 2.6). Arviointikynnysten ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Otsonipitoisuuksille on määritetty pitkän ajan tavoite, jonka ylittymiseen riittää yksi ylitys viiden vuoden aikana. Jos pitoisuustietoja ei ole saatavana viiden vuoden jaksolta, voidaan käyttää lyhyemmiltä mittausjaksoilta saatuja tietoja yhdistettynä päästökartoituksista ja mallilaskelmista saatuihin tietoihin. Mittaustietojen tulee edustaa alueita ja vuodenaikoja, jolloin pitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan.

Taulukko 2.6 Ilmanlaadun arviointikynnykset.

		Ylempi arviointikynnys		Alempi arviointikynnys	
Rikkidioksidi (SO₂) (µg/m ³)	Raja-arvo				
24 tuntia (saa ylittyä 3 krt/vuosi)	125	75	(60 %)	50	(40 %)
	Kriittinen taso				
talvikausi (1.10.–31.3.) ¹⁾	20	12	(60 %)	8	(40 %)
Typpidioksidi (NO₂) (µg/m ³)	Raja-arvo				
1 tunti (saa ylittyä 18 krt/vuosi)	200	140	(70 %)	100	(50 %)
Kalenterivuosi	40	32	(80 %)	26	(65 %)
Typen oksidit (NO_x) (µg/m ³) ¹⁾	Kriittinen taso				
Kalenterivuosi	30	24	(80 %)	19,5	(65 %)
Hengitettävät hiukkaset (PM₁₀) (µg/m ³)	Raja-arvo				
24 tuntia (saa ylittyä 35 krt/vuosi)	50	35	(70 %)	25	(50 %)
vuosi	40	28	(70 %)	20	(50 %)
Pienhiukkaset (PM_{2,5}) (µg/m ³)	Raja-arvo				
kalenterivuosi	25	17	(70 %)	12	(50 %)
Lyijy (Pb) (µg/m ³)	Raja-arvo				
kalenterivuosi	0,5	0,35	(70 %)	0,25	(50 %)
Hiilimonoksidi (CO) (mg/m ³)	Raja-arvo				
8 tuntia ²⁾	10	7	(70 %)	5	(50 %)
Bentseeni (C₆H₆) (µg/m ³)	Raja-arvo				
kalenterivuosi	5	3,5	(70 %)	2	(40 %)
Otsoni (O₃)	Pitkän ajan tavoite				
8 tuntia ²⁾	120 µg/m ³				
AOT40 ³⁾	6 000 µg/m ³ h				
Arseeni (As) (ng/m ³)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	6	3,6	(60 %)	2,4	(40 %)
Kadmium (Cd) (ng/m ³)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	5	3	(60 %)	2	(40 %)
Nikkeli (Ni) (ng/m ³)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	20	14	(70 %)	10	(50 %)
Bentso(a)pyreeni (BaP) (ng/m ³)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	1	0,6	(60 %)	0,4	(40 %)

¹⁾ Kriittinen taso kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi²⁾ Vuorokauden korkein 8 tunnin keskiarvo valitaan tarkastelemalla 8 tunnin liukuvia keskiarvoja. Kukin 8 tunnin jakso osoitetaan sille päivälle, jona jakso päättyy.³⁾ AOT40 on otsonin kuormitus, joka ilmaistaan 80 µg/m³ (=40 ppb) ylittävien otsonin tuntipitoisuuksien ja 80 µg/m³ erotuksen kumulatiivisena summana. AOT40 lasketaan 1.5.–31.7. välisen ajan tuntiarvoista, jotka mitataan klo 9.00–21.00 välisenä aikana Suomen normaaliaikaa, joka on klo 10.00–22.00 Suomen kesäaikaa.

2.2 Mittaukset osana ilmanlaadun seurantaa

2.2.1 Ilmanlaadun seurantamenetelmät

Päästöjen luonne, määrä, päästölähteen sijainti ja päästökorkeudet, taustapitoisuudet sekä väestön ja kasvillisuuden altistuminen epäpuhtauksille vaikuttavat ilmanlaadun seurannan tarpeeseen ja toteuttamistapoihin. Seurannassa on tarpeen käyttää tutkimusmenetelmiä, jotka ovat riittäviä ja luotettavia ilmanlaatuutilanteen arvioimiseksi. Ilmanlaadun seurannalla tarkoitetaan ilmanlaatuasetuksessa mainittuja menetelmiä, joilla mitataan, lasketaan, ennustetaan tai muulla tavoin arvioidaan epäpuhtauden pitoisuutta ilmassa.

Ilmanlaadun seurannan menetelmä valitaan ilman epäpuhtauksien pitoisuustasojen perusteella. Ilmanlaatuasetuksessa on määritetty pitoisuuksien alemmat ja ylemmät arviointikynnykset eri ilman epäpuhtauksille (taulukko 2.6). Jos pitoisuudet ylittävät ylemmän arviointikynnyksen, ovat jatkuvat mittaukset ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä. Pitoisuuksien alittaessa ylemmän arviointikynnyksen on jatkuvien mittausten tarve vähäisempi ja arvioinnissa voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa-antavien mittausten yhdistelmää. Pitoisuuksien alittaessa alemman arviointikynnyksen ovat suuntaa-antavat mittaukset, mallintaminen tai päästökartoitukset riittävä menetelmä ilmanlaadun arvioimiseksi.

Ilmanlaadun jatkuvilla mittauksilla saadaan tietoja lyhyt- ja pitkäaikaispitoisuuksista, pitoisuuksien ajallisesta vaihtelusta, ilmanlaadun kehittymisestä pitkällä ajanjaksolla, eri päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun sekä tietoja reaaliaikaista tiedotusta ja leviämismallien tulosten todentamista varten.

Suuntaa-antavilla mittauksilla voidaan kartoittaa ilmanlaatua alueella, jonka pitoisuustaso ei ennalta ole tiedossa. Suuntaa-antavia mittauksia voidaan käyttää myös jatkuvien mittausten tukena alueellisen kattavuuden parantamiseksi. Suuntaa-antavat mittaukset voivat olla lyhytaikaisia mittauskampanjoita tai pitkäkestoisia mittauksia, joiden ajallinen kattavuus tai aineiston vähimmäismäärä tai jokin muu laatuvaate ei täytä jatkuville mittauksille asetettuja vaatimuksia tai joissa ei käytetä referenssimenetelmiä (esimerkkinä passiivikeräinmenetelmä).

Leviämismallinnuksilla saadaan tietoja ulkoilman pitoisuuksien lyhyt- ja pitkäaikais- tasoista, pitoisuuksien vaihtelusta tarkasteltavalla alueella sekä yhden päästölähteen vaikutuksesta ilmanlaatuun monilähteisessä ympäristössä. Mallinnuksen avulla voidaan arvioida tehtyjen tai suunniteltujen ilmansuojelu- ja muiden toimien vaikutusta ilmanlaatuun sekä energiantuotannon, teollisuuden, liikenteen, maankäytön ja kaavoituksen erilaisten suunnitteluvaihtoehtojen vaikutusta ilmanlaatuun.

Päästökartoituksilla saadaan tietoja mm. energiantuotannon, teollisuuden, liikenteen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamien epäpuhtauksien kokonaismääristä, päästöjen laadusta, ajallisesta vaihtelusta ja päästöihin vaikuttavien häiriöiden yleisyydestä, päästölähteiden sijainnista, päästökorkeuksien suhteesta ympäröiviin rakennuksiin ja maastoon sekä maankäytöstä, kuten

teollisuus- ja asuntoalueiden, tiestön, virkistysalueiden ja herkkien kohteiden ym. sijainnista kunnan alueella.

2.2.2 Ilmanlaadun mittaustarve ja mittaustavoitteet

Ilmanlaadun mittaustarve ja seurannan riittävyys ilmanlaadun seuranta-alueilla tulee arvioida vähintään viiden vuoden välein. Ilmatieteen laitos ja ympäristöministeriö ovat toteuttaneet kaikkia seuranta-alueita kattavia arvioita, joista viimeisimässä kartoitettiin Suomen nykyinen ilmanlaatu tilanne ja tulosten perusteella arvioitiin seurantatarvetta seuranta-alueittain (*Komppula, B., ym., 2014*). Myös monet mittausverkot ovat tehneet tai teettäneet omaa aluettaan koskevia seurantasuunnitelmia. Seurantasuunnitelmassa arvioidaan nykyisten mittauksen riittävyys ja alueellinen kattavuus. Arvion perusteella voidaan suositella uusia ilmanlaadun epäpuhtauksien mittauksia tai ilmanlaadun parantuaessa tarpeettomaksi osoittautuneiden mittauksen lopettamista. Aineistona käytetään viiden edellisen vuoden mitattuja pitoisuuksia suhteessa ilmanlaadun arviointikynnyksiin. Arvioinnissa hyödynnetään myös pidempiä pitoisuustrendejä, liikenteen ja muiden merkittävien lähteiden päästötietoja sekä tehtyjä päästöjen leviämismallilaskelmia.

Ilmanlaadun mittauksille tavoitteita asettavat niin paikalliset, kansalliset kuin kansainväliset tarpeet. Paikallisista lähtökohdista lähtevä seuranta on perinteisesti ollut teollisuuden päästövaikutusten seurantaa. Nykyisin useimmissa kaupungeissa hajapäästöt kuten liikenteen ja kotitalouksien pienpolton päästöt vaikuttavat ilmanlaatuun pistemäisiä päästölähteitä enemmän. Kuitenkin useimmissa mittausverkoissa teollisuus- ja energiantuotanto osallistuvat ilmanlaadun mittauksen kustannuksiin ja täyttävät siten ympäristöluvista esitetyt velvoitteet yhteistarkkailuun osallistumisesta. Ilmanlaadun mittauksilla seurataan, alittuvatko terveyden suojelemiseksi asetetut ilmanlaadun raja-, tavoite- ja tapauksesta riippuen ohjearvot. Raja-, ohje- tai tavoitearvojen ylittyessä pyritään erilaisin toimin alentamaan pitoisuuksia ja seurataan pitoisuuksien kehitystä. Paikalliseen mittaustarpeeseen vaikuttavat mm. liikennemäärät sekä paikallisten päästölähteiden sijainti. Joissakin tapauksissa myös asukkaiden valitukset hajusta tai ilmanlaadusta voivat olla peruste mittauksille tai mallinnoille.

Kansallisella tasolla ELY-keskukset huolehtivat, että ilmanlaadun seuranta on omalla seuranta-alueella hoidettu hyvin. Ilmanlaatuasetuksessa ja metalliasetuksessa on määritetty seuranta-alueittain mittausasemien vähimmäislukumäärät hajapäästöjen seurantaa eri seuranta-alueilla ja maaseututausta-alueilla. Minimiasemamäärä riippuu pitoisuustasoista ja seuranta-alueella asuvien ihmisten lukumäärästä.

Sijainniltaan ja laadultaan edustavimpien mittausasemien tulokset raportoidaan EU:n tietokantoihin ns. ilmanlaadun raja- ja tavoitearvoja valvovina asemina. Kansainvälisiä tarpeita ovat myös seurantatietojen tuottaminen kansainvälisiin tutkimusohjelmiin, mikä koskee lähinnä Ilmatieteen laitoksen mittauksia tausta-alueilla.

On eduksi, jos ilmanlaadun raja-arvojen valvontaan liittyvät mittaustavoitteet voidaan yhdistää muihin mahdollisiin mittaustavoitteisiin. Seuraavassa on lueteltu yleisimpiä mittauksille asetettuja tavoitteita:

- ilmanlaadun raja-, tavoite- ja ohjearvojen sekä tiedotus- ja varoituskynnysten valvonta
- yleinen ilmanlaadun tilan seuranta
- ilmanlaadun kehityksen arviointi pitkällä aikavälillä
- ilmanlaadun arvioiminen paikallisella tai kansallisella tasolla
- väestölle tiedottaminen ja väestön varoittaminen
- väestön epäpuhtauksille altistumisen ja terveyshaittojen arviointi
- epäpuhtauksien viihtyisyyshaitan arviointi (valitukset ilmanlaadusta tai hajuista)
- kasvillisuusvaikutusten arviointi
- yhden tai useamman päästölähteen ilmanlaatuvaikutusten arviointi
- lupaehtojen täyttäminen osallistumalla yhteistarkkailuun
- ilmanlaadun parantamiseen tähtäävien toimien tehokkuuden arviointi (esim. päästövähennykset, pölyhaittojen torjunta)
- päästöhäiriöiden tai -muutosten aiheuttamien vaikutusten seuranta
- ilmanlaatu-tietojen tuottaminen maankäytön, suunnittelun yms. tarpeisiin
- vertailu- ja lähtöaineiston tuottaminen leviämismallien tarpeisiin
- ilmanlaatu-tietojen tuottaminen kansainvälisiin seurantaohjelmiin (erityisesti puhtaat tausta-alueet)

Mikäli tunnistetaan alueita, joilla ilmanlaatu ei mahdollisesti täytä sille asetettuja tavoitteita, voidaan kartoittaa aluksi ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä. Tällöin voidaan koota saatavissa olevat tiedot päästöistä, ilmanlaadusta, säätekijöistä ja alueen topografiasta sekä väestön ja kasvillisuuden altistumisesta. Päästökartoitusta on usein aiheellista täydentää leviämismallien avulla tai ilmanlaadun mittauksilla etenkin jos on arvioitavissa, että korkeita pitoisuuksia saattaa esiintyä poikkeuksellisen päästölähteen tai tavanomaista heikompien sekoittumisolosuhteiden takia.

Mittaustarpeen arvioinnissa voidaan hyödyntää myös toisaalla, vastaavanlaisessa ympäristössä ja olosuhteissa kerättyä ilmanlaatuaineistoa. Esimerkiksi pitoisuudet ympäristöissä, joissa liikennemäärät samoin kuin sää- ja leviämisolosuhteet ovat samankaltaisia, myös liikenteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet ovat todennäköisesti vastaavalla tasolla. Vastaavaa menetelmää voidaan jossain määrin hyödyntää myös muiden hajalähteiden kuten kotitalouksien pienpolton vaikutuksia arvioitaessa, mutta lämmityksen päästöjen arviointi on haasteellisempaa.

Ennen jatkuvien mittausten aloittamista on suositeltavaa varmistaa mittaustarve suuntaa-antavien mittausten avulla. Mittaukset voidaan toteuttaa esimerkiksi mittauskampanjoina todennäköisillä maksimipitoisuusalueilla, joilla ihmiset voivat altistua korkeille pitoisuuksille. Ilmanlaatumittauksissa normaalisti käytettävien vertailumenetelmien sijasta tai ohella voidaan hyödyntää myös muita mittausmenetelmiä edellyttäen, että mittauksille asetetut laatu-tavoitteet saavutetaan. Mittausjakson pituus tulisi olla mielellään 3–12 kuukautta, jotta mittaustarvetta voidaan arvioida luotettavasti. Pitoisuuksien vertaaminen

ilmanlaadun raja-arvoihin edellyttää käytännössä yleensä kalenterivuoden pituista mittausjaksoa.

Ilmanlaadun seurantamittaukset on suositeltavaa aloittaa, jos suuntaa-antavat mittaukset tai muut selvitykset osoittavat, että

- ilmanlaadun raja- tai tavoitearvo ylittyy tai on vaarassa ylittyä
- ilmanlaatuasetuksessa määritetty ylempi arviointikynnys ylittyy ja seuranta alueella ei ole riittävää

Ilmanlaadun seurannan aloittamista tulee harkita, jos

- epäpuhtauden pitoisuus on alemman ja ylemmän arviointikynnyksen välissä

2.2.3 Ilmanlaadun mittausverkon suunnittelu

Mittausaseman ja -verkon suunnittelu tulee aloittaa, jos mittaustarpeen arviointi osoittaa, että alueen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia olisi syytä seurata jatkuvien ilmanlaadun mittauksin. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota siihen, mitä mittausasemalla mitattava ilmanlaatu edustaa: minkälaista ympäristöä ja minkälaisia altistuvia ihmisiä tai väestöryhmiä. Mittausasema voi esimerkiksi edustaa ilmanlaatua, jolle ihmiset altistuvat liikkueessaan keskustan vilkasliikenteisten katujen varsilla, keskustan asuinalueilla, lähiöiden pientaloalueilla tai vaikka maaseutualueilla. Mittausasema voi olla myös suunniteltu teollisuusalueiden tai yksittäisten päästölähteiden ilmanlaatuvaikutusten seurantaan.

Mittausaseman sijoituspaikkaan vaikuttavat päästöjen maantieteellinen jakautuminen ja altistuvien ihmisten sijainti suhteessa korkeimpiin pitoisuuksiin. Ilmanlaadun mittausasemat on suositeltavaa sijoittaa niin, että saadaan tietoa pahimmin kuormitetuilta alueilta, joilla väestön altistuminen ilman epäpuhtauksille on suurinta sekä toisaalta alueilta, jotka edustavat väestön yleistä altistumista. Käytännössä tämä tarkoittaa Suomessa sitä, että yksi asema on yleensä sijoitettu kaupunkien ruuhkaisimpaan liikekeskustaan sekä muita asemia eri etäisyyksille keskustasta edustaen asuinalueita tai yksittäisiä päästölähteitä. Teollisuuspaikkakunnilla mittausasema tai -asemia on myös sijoitettava päästöjä aiheuttavien teollisuuslaitosten ympäristöön, tyypillisesti vaikutusalueella sijaitseville lähimmille asuinalueille.

Mittausasemien sijoittamisessa kannattaa käyttää apuna alueelle mahdollisesti aiemmin tehtyjä leviämismallinnuksia, joissa on otettu huomioon kaikki alueen merkittävimmät päästölähteet. Leviämismallikartasta käy hyvin ilmi pitoisuuksien alueelliset vaihtelut tarkastellulla alueella sekä korkeimpien pitoisuuksien vyöhykkeet ja niiden sijainti suhteessa asuinalueisiin.

Liikenteen päästöjen vaikutuksia seurattaessa mittausaseman tulisi sijaita kaupungin vilkkaimmin liikennöityjen teiden varsilla alueella, jossa liikkuu myös ilman epäpuhtauksille altistuvia ihmisiä. Useimmiten vilkkaimmin liikennöidyt alueet sijaitsevat kaupungin keskustassa tai sisääntuloväylien varsilla. Mittausaseman sijoittamisessa kannattaa hyödyntää katujen ja teiden liikennemäärälaskentojen tietoja.

Pistemäisten päästölähteiden vaikutuksia seurattaessa tulee huomioida päästöjen määrä ja laatu (yhdisteet, haju) sekä ilmansuunta. Mittausasema on suositeltavaa sijoittaa päästölähteeseen nähden vallitsevan tuulen alapuolella sijaitsevalle lähimmälle asuinalueelle. Tällöin mittauksien avulla pystytään useimmin rekisteröimään erilaiset päästötilanteet ja niiden vaikutus ilmanlaatuun ja altistuvaan väestöön. Suomessa vallitseva tuulen suunta on lounas. Jos alueen taustapitoisuutta ei tunneta, tulisi ilmanlaatua seurata myös vallitsevan tuulen yläpuolella.

Mittausasemaa sijoitettaessa tulee huomioida, että terveyshaittojen ehkäisemiseksi säädettyjen raja-arvojen noudattamista ei arvioida:

- alueilla, joille yleisöllä ei ole vapaata pääsyä ja joilla ei ole pysyvää asutusta
- työpaikka-alueilla, kuten tuotanto- ja teollisuuslaitoksissa, joihin sovelletaan työterveyttä ja työturvallisuutta koskevia säännöksiä;
- ajoradoilla eikä teiden keskialueilla, paitsi jos yleisöllä on pääsy keskialueelle

Mittausasemalla mitattavat ilman epäpuhtaudet määräytyvät merkittävimmän päästölähteen mukaan. Seuraavassa on esitelty komponenteittain, minkälaisten päästölähteiden seurantaan eri yhdisteet soveltuvat tai mitä ne kuvaavat. Ilmanlaatutilanteen arvioimiseksi ja tulosten tulkintaa varten mittausasemilla on usein tarpeen tehdä usean epäpuhtauden mittauksia samanaikaisesti.

Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})

- katupöly
- rakennustyömaat
- teollisuus, kaivokset, kivenlouhinta- ja murskaus

Pienhiukkaset ($PM_{2,5}$)

- kotitalouksien puun pienpoltto
- liikenne
- kaukokulkeuma (esim. metsä- ja maastopalojen savut)
- katupöly

Typen oksidit (NO_x)

- liikenteen, erityisesti raskaan liikenteen, päästöt
- energiantuotanto

Rikkidioksidi (SO_2)

- satamat (laivapäästöt)
- teollisuusprosessit, esimerkiksi öljynjalostus
- energiantuotanto

Otsoni (O_3)

- kaukokulkeuma
- otsonia muodostavien yhdisteiden valokemialliset reaktiot

Bentso(a)pyreeni ja muut PAH-yhdisteet

- kotitalouksien puun pienpoltto
- liikenne
- valimot ja koksamot rauta- ja terästeollisuudessa

Metallit (As, Cd, Ni, Pb)

- metallinjalostusteollisuus, kaivokset
- jätteenpolttolaitokset

Bentseeni ja muut VOC-yhdisteet

- kotitalouksien puun pienpoltto
- huoltoasemat, liuotinvarastot yms.
- liikenne

Hiilimonoksidi

- liikenne
- kotitalouksien puun pienpoltto

Edellä mainittujen komponenttien enimmäispitoisuuksille on säädetty raja- ja tavoitearvot. Pelkistyneiden rikkiyhdisteiden eli ns. haisevien rikkiyhdisteiden ja kokonaisleijuman enimmäispitoisuuksille on säädetty kansalliset ohjearvot.

Haisevat rikkiyhdisteet (TRS)

- puunjalostusteollisuus
- jätteenkäsittely- ja kompostointilaitokset
- jätevedenpuhdistamot
- öljynjalostus

Kokonaisleijuma (TSP)

- kaivokset
- tie- ja rakennustyömaat, kivenlouhinta- ja murskaus

Muutamissa mittausverkoissa mitataan myös komponentteja, joiden pitoisuudet eivät ole säädeltyjä. Näitä ovat esimerkiksi:

Musta hiili (BC)

- liikenteen, erityisesti dieselajoneuvojen, päästöt
- kotitalouksien puun pienpoltto
- laivaliikenne
- kaukokulkeuma

Hiukkasten lukumääräpitoisuus

- liikenne
- sekundääriset hiukkaset eli hiukkasmuodostus

Rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin Suomessa niin alhaisella tasolla, että rikkidioksidin seuranta on tarpeellista lähinnä enää satamien tai yksittäisten teollisuuslaitosten ympäristössä. Bentseenipitoisuudet ovat myös alhaisia eikä

jatkuvaan seurantaan ole tarvetta. Hiilimonoksidipitoisuuksien seurantatarve on merkittävästi vähentynyt pitoisuuksien laskettua.

Alle vuoden pituisia jatkuvia mittauksia suunniteltaessa on huomioitava, että mittaukset tulee suorittaa ajankohtana, joka kuvaa riittävän kattavasti pitoisuuksien ajallista vaihtelua vuoden aikana. Mittausten tulee kattaa sekä ajankohdat, jolloin pitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan että ajankohdat, jolloin pitoisuudet ovat matalia. Ihanteellisinta olisi kampanjamittauksissakin mitata kokonaisen kalenterivuoden ajan. Keräinmittauksissa otantojen on jakauduttava tasaisesti koko vuoden ajalle.

Ilmanlaadun mittausasemien määrä ja sijainnit ovat Suomessa melko vakiintuneet. Uusia mittauksia aloitetaan lähinnä kun halutaan seurata jonkin uuden päästölähteen vaikutuksia tai on tarve saada lisää tietoa jostakin ilman epäpuhtaudesta. Yleisempää on luopua mittauksista mittaustarpeen poistuttua esimerkiksi teollisuuslaitoksen lopettaessa toimintansa tai ilmanlaadun parantuessa. Nykyisten asemien siirto edustavampaan ympäristöön voi myös tulla kyseeseen, jos halutaan parantaa mittausten laatua ja edustavuutta. Seuraavassa luvussa 2.2.4 on esitetty kriteereitä mittausaseman edustavuudelle ja tarkemmalle sijainnille.

2.2.4 Mittausasemien luokittelu, edustavuus ja sijoituskriteerit

Ilmanlaatuasetuksessa sekä ilmanlaatatietojen vaihtoa ja raportointia koskevassa IPR-päätöksessä (Implementing Provisions on Reporting, 2011/850/EU) mittausasemat on luokiteltu sijainnin ja merkittävimmän päästölähteen perusteella. Yhtenäisten asemien luokittelu- ja sijoittamiskriteerien tarkoituksena on parantaa ilmanlaadun mittauksien ja arviointien vertailtavuutta eri paikkakuntien, seuranta-alueiden ja EU:n jäsenvaltioiden kesken sekä suhteessa ilmanlaadun tavoitteisiin. EU:n mallintamisverkosto FAIRMODE:n (The Forum for Air quality Modelling) tarkoituksena on parantaa asemien edustavuuden arviointia kehittämällä uusia arviointimenetelmiä ja työkaluja yhdessä jäsenmaiden kanssa.

Päästöjen luonteen ja päästölähteiden etäisyyden sekä aseman edustavuuden suhteen mittausasemat voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, jotka ovat liikenne-, teollisuus- ja tausta-asemat. Edustamansa alueen mukaan asemat voidaan jakaa kaupunki-, esikaupunki- ja maaseutuasemiin (*European Commission, 2013*):

Aseman tyyppi suhteessa hallitseviin päästölähteisiin

- **Liikenne:** Asema, joka sijaitsee lähellä yksittäistä pääkatua tai tietä.
- **Teollisuus:** Asema, joka sijaitsee lähellä yksittäistä teollisuuslaitosta tai teollisuusaluetta. Teollisuuden päästölähteitä ovat esimerkiksi voimalaitokset, lämpökeskukset, jalostamot, jätteenpolttolaitokset, jätteenkäsittelykeskukset, kaivokset, lentokentät ja satamat.
- **Tausta:** Asema, jota ei voi luokitella liikenne- tai teollisuusasemaksi ja jolla mitatut epäpuhtaudet edustavat väestön (tai kasvillisuuden ja ekosysteemien) yleistä altistumista. Pitoisuustasoihin eivät vaikuta yksittäiset päästölähteet. Aseman tulisi edustaa laajempaa, vähintään useiden neliökilometrien kokoista aluetta.

Alueen tyyppi

- **Kaupunki:** Tiheään rakennettu kaupunkimainen alue, jossa katuja reunustavat kauttaaltaan tai ainakin vallitsevasti vähintään kaksikerroksiset rakennukset. Rakennusten lisäksi kaupunkialueeseen kuuluvat puistot, rautatieasemat, sisääntuloväylät ja moottoriteiden liittymät.
- **Esikaupunki:** Suureksi osaksi rakennettu kaupunkimainen alue, johon kuuluu omakotitalovaltaisia asutusalueita, muuta erillisrakentamista sekä rakentamattomia alueita (pieniä järviä, metsiä, maataloutta), ja jonka rakennustiheys on pienempi kuin kaupungissa.
- **Maaseutu:** Kaikki alueet, jotka eivät täytä kaupunki- ja/tai esikaupunkialueiden kriteerejä. Maaseutualueet voidaan jakaa edelleen:
 - Lähellä kaupunkia oleva maaseutu: alle 10 km etäisyydellä kaupunki- tai esikaupunkialueen rajasta
 - Alueellinen maaseutu: 10–50 km merkittävimmistä lähteistä
 - Syrjäinen maaseutu: yli 50 km etäisyydellä merkittävimmistä lähteistä

Perinteisesti mittausasema on luokiteltu yhden päästö- ja aluetyypin mukaan. IPR-päätöksen mukaisesti luokittelu tehdään nykyään mittauskohtaisesti kaikille mitattaville epäpuhtauksille päästölähteen mukaan. Aseman perustyyppi (esimerkiksi liikenneasema tai teollisuusasema) määräytyy päätarkoituksen mukaan.

Mittausasemien alueellinen edustavuus (makroskaala)⁹

Mittausasemien on oltava riittävän edustavia, jotta mittaustuloksia voidaan käyttää myös ympäristöltään ja olosuhteiltaan samankaltaisten alueiden ilmanlaadun arvioinnissa. Ilmanlaatuasetuksessa on annettu mittausasemien sijoittamista koskevia yleisiä kriteereitä:

- **Liikenneasema:** Liikenteen vaikutuksia arvioitaessa mittausaseman on edustettava ympäröivän alueen ilmanlaatua vähintään 100 metrin pituisella katuosuudella.
- **Teollisuusasema:** Teollisuuslaitosten vaikutuksia arvioitaessa mittausaseman on edustettava ympäröivän alueen ilmanlaatua vähintään 250 × 250 metrin laajuudelta. Ainakin yksi mittausasema on sijoitettava lähteestä katsoen lähimmälle vallitsevan tuulensuunnan alapuolella sijaitsevalle asuinalueelle. Jos taustapitoisuutta ei tiedetä, on sijoitettava yksi ylimääräinen mittausasema lähteestä katsoen tuulen yläpuolelle.
- **Kaupunkitausta-asema:** Kaupungin yleistä ilmanlaatua arvioitaessa mittausaseman on edustettava ympäröivän alueen ilmanlaatua pääsääntöisesti usean neliökilometrin laajuudelta ja siten, että alueen pitoisuuksiin vaikuttavat kaikki ympäristön merkittävät päästölähteet yhdessä eikä yksittäinen lähde hallitse liikaa.

⁹ Metalliasetuksen osalta mittausasemien sijaintialuetta koskevat yleiset kriteerit vastaavat pääosin ilmanlaatuasetuksen säännöksiä. Metallien osalta pääasialliset päästölähteet ovat kuitenkin tietyt teollisuuslaitokset ja PAH-yhdisteisiin kuuluvan bentso(a)pyreenin osalta puun pienpoltto. Seurannan järjestämisessä tämä on huomioitava.

- **Maaseutuasema ja maaseututausta-asema:** Maaseudun taustapitoisuuksia arvioitaessa mittausaseman on sijaittava vähintään viiden kilometrin etäisyydellä väestökeskittymistä, merkittävistä taajamista ja teollisuuslaitoksista, jotka voivat vaikuttaa taustapitoisuuksiin.
- **Asema kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi:** Kasvillisuuden ja ekosysteemien altistumisen seuraamiseen tarkoitettu mittausasema on sijaittava vähintään 20 kilometrin etäisyydellä väestökeskittymistä tai vähintään 5 kilometriä muista rakennetuista alueista, teollisuuslaitoksista, moottoriteistä tai vilkkaasti liikennöidyistä valtateistä, joiden liikennemäärä on yli 50 000 ajoneuvoa vuorokaudessa.

Otsonipitoisuuksien seuraamiseen tarkoitettut mittausasemat voidaan jaotella mittaustavoitteiden mukaan kaupunki-, esikaupunki-, maaseutu- ja maaseututausta-asemiin. Kaupunkialueilla otsonimittaukset edustavat väestön yleistä altistumista otsonille ja esikaupunki- ja tausta-alueilla tyypillisesti korkeimpia otsonipitoisuuksia ja suurinta altistumista.

Mittausasemien paikalliset sijoituskriteerit (mikroskaala)¹⁰

Mittausasemien sijoittelussa on noudatettava seuraavia ilmanlaatuasetuksessa säädettyjä ohjeita: Kaikilla mittausasemilla näytteenotto on suoritettava vähintään 1,5 metrin (hengitystaso) ja enintään 4 metrin korkeudella maanpinnasta. Näytteenotto voidaan sijoittaa tarvittaessa korkeammalle, jos mittausasema edustaa laajaa aluetta. Poikkeukset on dokumentoitava kattavasti.

Mittauslaitteen näytteenottimen (sondi) läheisyydessä ei saa olla ilmapirtaa rajoittavia esteitä (yleensä vapaa kulma oltava vähintään 270 astetta tai 180 astetta rakennusten lähellä sijaitsevilla näytteenottopaikoissa). Näytteenottimen on yleensä sijaittava vähintään muutaman metrin etäisyydellä rakennuksista, parvekkeista, puista ja muista esteistä. Jos näytteenotto suoritetaan rakennuksen julkisivulta, etäisyys rakennukseen on oltava vähintään 0,5 metriä. Näytteenotinta ei saa sijoittaa päästölähteiden välittömään läheisyyteen kun tavoitteena on arvioida ilmanlaatua eikä mitata suoria päästöjä. Näytteenotossa tulee myös huomioida, ettei mittausaseman poistoilmaa pääse näytteenottimeen.

Liikenneasemilla näytteenoton on sijaittava vähintään 25 metrin etäisyydellä suurista tienristeyksistä ja enintään 10 metrin etäisyydellä ajokaistan reunasta. Suurena tienristeyksenä pidetään risteystä, joka katkaisee liikennevirran ja aiheuttaa poikkeavia päästöjä (pysähtyminen ja kiihdytys) muuhun tiehen verrattuna.

Otsonia mittaavat asemat tulee sijoittaa riittävän etäälle poltto- ja lämmityslaitoksista ja muista samantyyppisistä päästölähteistä ja vähintään

¹⁰ Metalliasetuksen osalta mittausasemien sijaintipaikkaa koskevat kriteerit vastaavat pääosin ilmanlaatuasetuksen säännöksiä. Metallien osalta pääasialliset päästölähteet ovat kuitenkin tietyt teollisuuslaitokset ja PAH-yhdisteisiin kuuluvan bentso(a)pyreenin osalta puun pienpoltto. Seurannan järjestämisessä tämä on huomioitava.

10 metrin päähän lähimmästä tiestä. Välimatkaa tulee pidentää suhteessa liikenteen määrän kasvuun.

Muita huomioon otettavia tekijöitä mittausaseman sijoituksessa:

- lupa aseman sijoittamiseen
- sähkön ja tietoliikenneyhteyksien saanti
- paikan näkyvyys ja aseman sopeutuminen ympäristöön
- mahdolliset häiriölähteet
- toimintavarmuuteen vaikuttavat tekijät
- kulkuyhteydet
- väestön ja mittaajien turvallisuus
- mittauksen keskittäminen (monikomponenttiasemien perustaminen)
- suunnittelun muut vaatimukset.

Mittausaseman dokumentointi ja tarkastaminen

Näytteenottopaikan valintamenettely on dokumentoitava kattavasti ja kirjattava tiedot mittausverkon suunnittelun ja mittausasemien sijaintipaikkojen valinnan tueksi. Dokumentointiin on sisällytettävä eri ilmansuunnista otettuja valokuvia mittausasemaa ympäröivästä alueesta ja yksityiskohtaiset kartat. Liitteessä 1 on esitetty, mitä mittausaseman kuvaus voi sisältää.

Asiakirja-aineisto on päivitettävä tarvittaessa ja tarkistettava vähintään viiden vuoden välein sen varmistamiseksi, että valintaperusteet täyttyvät edelleen ja että mittausasemien sijainnit ovat edelleen optimaalisia. Euroopan komissiolla on oikeus pyytää raja-arvoa valvovia mittauksia koskeva asiakirja-aineisto tarkistettavaksi. Tällöin ympäristöministeriö välittää pyynnön mittausverkoille. Vastaus on toimitettava komissiolle kolmen kuukauden kuluessa pyynnön esittämisestä.

3 MITTAAMINEN

3.1 Mittausmenetelmät

3.1.1 *Vaatimukset ja standardit*

Mittauksissa tulee käyttää määriteltyjä näytteenotto-, mittaus-, laskenta- ja testausmenetelmiä, standardeja ja laskentamalleja sekä tehdä mittaukset pätevästi, luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin (YSL 527/2014).

Ilmanlaadun tavoitteiden, kuten raja- ja tavoitearvojen, seurantaan liittyvissä ilman epäpuhtauksien mittauksissa tulee käyttää vertailumenetelmää tai muuta menetelmää, joka antaa vastaavat tulokset kuin kyseinen vertailumenetelmä. Hiukkaspitoisuuksien mittauksissa tulee käyttää menetelmää, jonka tulokset ovat yhteneviä vertailumenetelmän tulosten kanssa. Ilmanlaatua seurataan myös muuta tarkoitusta varten kuin EU:n direktiiveissä säädettyjen ilmanlaadun raja-arvojen ja tavoitearvojen seurantaa varten. Tällaisia tarkoituksia ovat esimerkiksi paikalliset mittaustarpeet sekä kansainväliset ja kansalliset ilmanlaadun tutkimus- ja seurantaohjelmat (esim. EMEP, GAW), joissa on erikseen määritelty mittausmenetelmät ja niiden laatuvaatimukset.

Eurooppalainen standardisoimisjärjestö CEN (European Committee for Standardisation) laatii standardeja perustuen EU:n lainsäädännön ja EU:n jäsenmaiden tarpeisiin. Standardointi tapahtuu usein yhteistyössä kansainvälisen standardisoimisjärjestön ISO:n (International Standardisation Organisation) kanssa. Ilmanlaadun mittaamiseen liittyvien standardien valmistelu CEN:issä tapahtuu teknisen komitean CEN 264 "Air Quality" alaisissa työryhmissä, jotka järjestävät tarvittaessa menetelmien validointeja laboratorio- ja kenttätestien muodossa. CEN:in tehtävänä on standardoida ilmanlaatudirektiivien määrittelemät vertailumenetelmät sekä myös muita mittaus- ja analysointimenetelmiä, joille direktiiveissä annetaan velvoitteita. Lisäksi jäsenmaiden esityksestä voidaan laatia myös muita standardeja tai teknisiä spesifikaatioita eri mittausmenetelmistä.

Liitteessä 2 on lueteltu ilmanlaadun mittaukseen liittyviä ISO:n, CEN:in ja SFS:n menetelmästandardeja. Kansainvälisessä standardoimisjärjestössä julkaistun standardin tunnus on ISO. Pääsääntöisesti CEN:n laatima standardi hyväksytään eurooppalaiseksi standardiksi (EN, European Norm), jonka kansallinen standardointielin hyväksyy kansalliseksi standardiksi. Käytännössä CEN:n standardit ovat Suomessa ensisijaisia ISO standardeihin nähden. Suomessa vahvistetun standardin tunnus on SFS. Tunnusyhdistelmä SFS-EN tarkoittaa, että sama standardi on voimassa sekä Suomessa että Euroopassa.

EU:ssa kansalliset vertailulaboratoriot muodostavat yhteistyöelimen AQUILA (Air quality reference laboratories), jonka yksi keskeisimmistä tehtävistä on koordinoida ja harmonisoida ilmanlaatumittausten laadunvarmistus- ja valvontakäytäntöjä Euroopassa. Yhteistyöelin on perustettu EU:n komission toimesta vuonna 2001. Se on neuvoa-antava elin, joka keskittyy teknis-tieteellisiin kysymyksiin ilmanlaadun mittausten, mittausmenetelmien, standardisoinnin sekä laadunvarmistustoimien kehittämisessä mittaustulosten laadun parantamiseksi (AQUILA, 2016).

Useimmissa tapauksissa ilman epäpuhtausmittauksissa voidaan käyttää vertailumenetelmää. Jos käytetään jotain muuta menetelmää, on sen vastaavuus vertailumenetelmään nähdén oltava kokeellisesti osoitettu. Luvuissa 3.1.2–3.1.3 on esitetty vertailumenetelmät yleisimpien ilman epäpuhtauksien mittauksille.

3.1.2 Kaasumaisten yhdisteiden vertailumenetelmät

Typpidioksidi ja typen oksidit

Typpidioksidin ja typen oksidien analyysin vertailumenetelmä (kemiluminesenssimenetelmä) on *SFS-EN 14211:2012 Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence*.

Rikkidioksidi

Rikkidioksidin analyysin vertailumenetelmä (UV-fluoresenssimenetelmä) on *SFS-EN 14212:2012 Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence*.

Haisevat rikkiyhdisteet

Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) mittaamiselle ei ole vahvistettu vertailumenetelmää. Mittaamisessa suositellaan käytettäväksi UV-fluoresenssimenetelmään perustuvia SO₂-analysaattoreita. Ennen analysointia TRS-yhdisteet hapetetaan konvertterissa korkeassa lämpötilassa (820–870°C) rikkidioksidiksi ja muodostunut rikkidioksidi mitataan rikkidioksidianalysaattorilla. Rikkidioksidi analysoidaan ja laitteet kalibroidaan standardin *SFS-EN 14212:2012* mukaan. Liitteessä 3 on annettu ohjeita mittauksen suorittamisesta.

Otsoni

Otsonin analyysin vertailumenetelmä (UV-fotometrinen menetelmä) on *SFS-EN 14625:2012 Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of ozone by ultraviolet photometry*.

Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidin analyysin vertailumenetelmä (ei-dispersiivinen IR-menetelmä) on *SFS-EN 14626:2012 Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of carbon monoxide by nondispersive infrared spectroscopy*.

Bentseeni

Bentseenin mittauksessa käytettävä vertailumenetelmä on kuvattu standardin *SFS-EN 14662:2005 Ambient air quality – Standard method for measurement of benzene concentrations* 1–3 osassa.

- Näytteenotto pumpulla, terminen desorptio ja määrittäminen kaasukromatografisesti: *SFS-EN 14662-1:2005 Part 1: Pumped sampling followed by thermal desorption and gas chromatography*.
- Näytteenotto pumpulla, desorptio liuottimella ja määrittäminen kaasukromatografisesti: *SFS-EN 14662-2:2005 Part 2: Pumped sampling followed by solvent desorption and gas chromatography*.
- Automaattinen näytteenotto-kaasukromatografi -määrittäminen: *SFS-EN 14662-3:2015 Part 3: Automated pumped sampling with in situ gas chromatography*.

Lisäksi bentseenin indikaatiivisiin mittauksiin voidaan käyttää seuraavia menetelmiä, jotka eivät ole vertailumenetelmiä:

- Näytteenotto diffuusiomenetelmällä, terminen desorptio ja määrittäminen kaasukromatografisesti: *SFS-EN 14662-4:2005 Part 4: Diffusive sampling followed by thermal desorption and gas chromatography*.
- Näytteenotto diffuusiomenetelmällä, desorptio liuottimella ja määrittäminen kaasukromatografisesti: *SFS-EN 14662-5:2005 Part 5: Diffusive sampling followed by solvent desorption and gas chromatography*.

3.1.3 Hiukkasten vertailumenetelmät

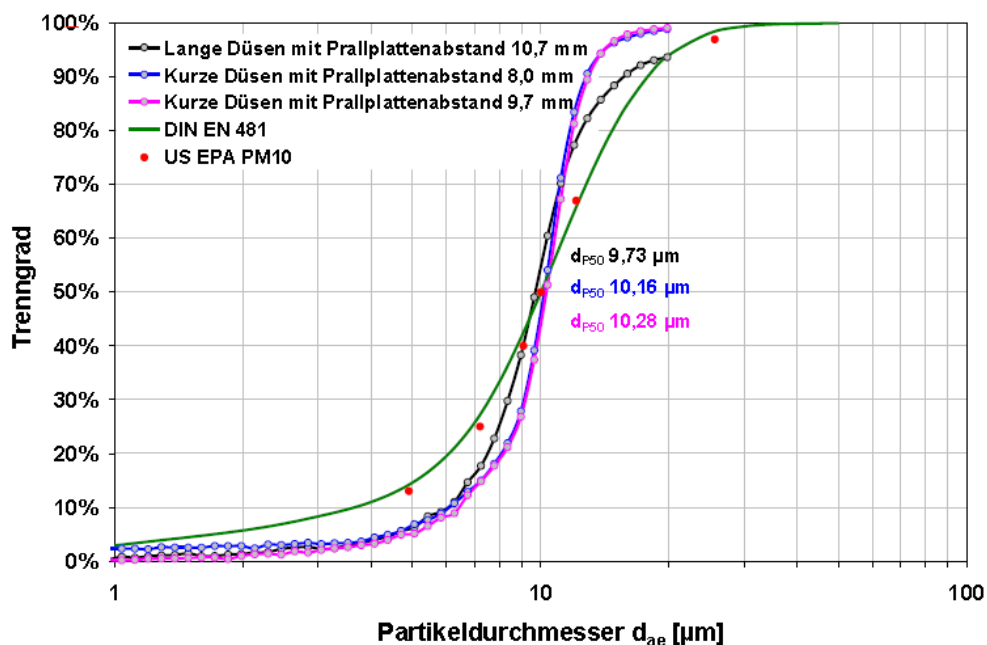
Hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset

Vertailumenetelmä hengitettävien ja pienhiukkasten (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) massapitoisuuden määrittämiseksi ulkoilmassa on kuvattu standardissa *SFS-EN 12341:2014 Ambient air – Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{10} or $PM_{2,5}$ mass concentration of suspended particulate matter*. Hiukkasten gravimetrisellä vertailumenetelmällä saadaan mitattua käytännössä vain vuorokausipitoisuuksia. Vertailumenetelmää yleisempi menetelmä ilmanlaadun seurannassa ovat erilaiset jatkuvatoimiset analysaattorit, joilla saadaan tietoa hiukkasten tuntipitoisuuksista. Seuraavassa on kuitenkin kerrottu enemmän gravimetrisestä vertailumenetelmästä.

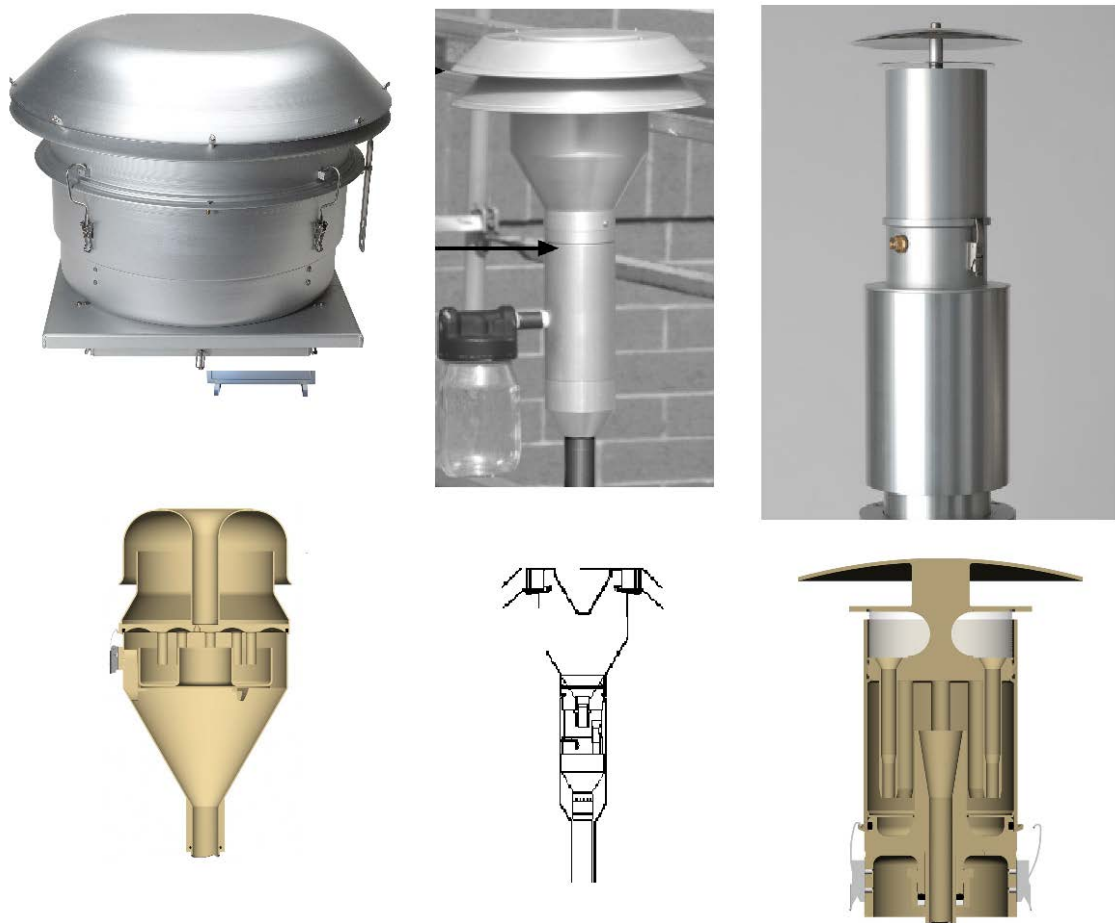
Hiukkasmittausten vertailumenetelmässä erotetaan ulkoilman hiukkasten koko niiden aerodynaamisten ominaisuuksien avulla kahteen eri kokoluokkaan eli fraktioon: aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle $2,5\ \mu m$ ja alle $10\ \mu m$ hiukkaset. Hiukkasten erottelu tapahtuu kokoa luokittelevan inletin eli näytteenottimen avulla, mikä leikkaa hiukkaskokoluokkaa suuremmat hiukkaset pois näyteilmasta.

Vertailumenetelmässä näytevirtauksen on oltava $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$, jolloin 50 % aerodynaamisen koon omaavista hiukkasista läpäisee inletin ja kulkeutuu keruusuodattimelle. Kuvassa 3.1 on esitetty tyypillinen leikkauskäyrä PM_{10} -kokoisille hiukkasille käyttäen eri suunnittelukriteerien mukaisia inlettejä (Kaminski et al. 2010).

Kuvan 3.1 erottelutehokkuuskäyrät ovat EN-standardin (EN 12341) mukaan suunnitteluilla inleteillä jyrkkiä, kun taas US EPA ja DIN EN 481 mukaan valmistettujen inlettien tehokkuuskäyrät ovat yhteneviä, mutta loivia. Loiva käyrä tarkoittaa, että inletti kerää selvästi isompia hiukkasia ja tuottaa siten suuremman massakonsentraation kuin jyrkän tehokkuuskäyrän omaavalla inletillä tehdyt mittaukset. US EPA ja DIN EN 481 ovat myös hyväksytyjä inlettejä, vaikkakin erilaisten suunnitteluohjeiden perusteella rakennettuja. Valitettavasti vastaavia tehokkuuskäyriä ei ole saatavilla $\text{PM}_{2.5}$ -kokoisten hiukkasten inleteille. Näin ollen $\text{PM}_{2.5}$ -kokoisten hiukkasten inlett voidaan valmistaa ainoastaan standardin EN 12341 -suunnitteluohjeiden mukaisesti.



Kuva 3.1.a Hiukkasten leikkauskäyrä PM_{10} -mittauksissa erilaisilla inleteillä eli hiukkaskoon leikkureilla. Kuvan käyristä musta, sininen ja pinkki edustavat standardin EN 12341 mukaan valmistettuja inlettejä ja US EPA PM_{10} tarkoittaa Yhdysvalloissa hyväksyttyä inlettä PM_{10} -mittauksille. Kuvaajan vaaka-akselilla on hiukkaskoko ja pystyakselilla läpäisyaste. (DIN EN 481 edustaa saksalaisen työilman hiukkaskoon määrittelyn mukaista inlettä).



Kuva 3.1.b Erilaisia kokoa luokittelevia inlettejä: vasemmalla HVS-inlettityyppi (PM_{10} ja $PM_{2,5}$), näytevirtaus $68 \text{ m}^3/\text{h}$, keskellä US EPA:n hyväksymä inletti (PM_{10}), näytevirtaus $1 \text{ m}^3/\text{h}$ ja oikealla EN-12341 suunnittelukriteerien avulla valmistettu LVS-inletti (PM_{10} ja $PM_{2,5}$), näytevirtaus $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vertailumenetelmässä hiukkasten PM_{10} ja $PM_{2,5}$ -fraktiot kerätään suodattimelle ja näytteen hiukkasmassa määritetään gravimetrisesti. Näytteenoton hyväksyttävät keräimet PM_{10} ja $PM_{2,5}$ -mittauksille ovat:

- LVS, PM_{10} ja $PM_{2,5}$ -pientehokeräin varustettuna EN-12341:2014 suunnittelukriteereillä valmistetulla inletillä (kuva 3.1.b oikean puoleinen kuva), jossa virtausnopeus on $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$
- HVS, PM_{10} ja $PM_{2,5}$ -suurtehokeräin varustettuna EN-12341:1998 suunnittelukriteereillä valmistetulla inletillä (kuva 3.1.b vasemman puoleinen kuva), jossa virtausnopeus on $68 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vertailukeräimessä voidaan käyttää myös muita inlettejä ja virtausnopeutta, kun niiden vastaavuus vertailumenetelmään nähden on osoitettu. Tällaisia ovat esimerkiksi:

- PM₁₀ ja PM_{2,5}-keräin 1 m³/h virtaukselle varustettuna EN-12341:1998 suunnittelukriteereillä valmistetulla inletillä. Vastaavuus on osoitettu Defran julkaisussa (*Assessment of UK AURN, 2010*) ja TÜV:n testi raportissa (TÜV 1.6/205/90 test report, 2000).
- PM₁₀ ja PM_{2,5}-pientehokeräin (Low volume sampler, LVS) varustettuna US EPA:n suunnittelukriteereillä valmistetulla inletillä (kuva 3.1.b keskimäinen kuva), jossa virtausnopeus on 1 m³/h. Vastaavuus on osoitettava erikseen EN-12341:1998 tai Euroopan komission julkaiseman ohjeen "Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods" (GDE-ohje) mukaan (GDE, 2010) tai soveltuvien osien voi käyttää testituloksia (Aces report 4, 2012).

Standardi SFS-EN 12341:2014 sallii erityyppisten suodatinmateriaalien käytön hiukkasten massakonsentraation mittaamiseen. Soveltuvia suodatinmateriaaleja ovat kvartsi, lasikuitu ja teflon. Tarkempi lajittelu on esitetty alla:

- Kvartsisuodatin vahvennettuna sidosaineella tai ilman
- Lasikuitusuodatin vahvennettuna sidosaineella tai ilman
- Polytetrafluoroetyleenisuodatin (PTFE, Teflon)
- Polytetrafluoroetyleenillä (PTFE) päällystetty lasikuitusuodatin.

Suodattimen valinnassa on otettava huomioon hiukkasmassasta mahdollisesti tehtävät kemialliset analyysit massakonsentraation määrittämisen lisäksi. Myös ulkoiset olosuhteet sekä hiukkaspitoisuus vaikuttavat oleellisesti suodatinmateriaalin valintaan.

Suodattimien punnitus sekä vakioimisolosuhteet on kuvattu standardissa ja niitä tulee noudattaa. Mikäli punnitusolosuhteissa poiketaan standardin vaatimuksista, tulee poikkeaman vaikutus mittaustulokseen osoittaa erillisillä mittauksilla. Standardissa EN-12341:2014 kuvataan käytettävän vaa'an tarkkuus, punnitusolosuhteet ja punnitustapa:

- Punnitusolosuhteet T = 20 ± 1 °C ja suhteellinen kosteus RH % = 45–50 %
- Keräämätön suodatin: stabilointiaika, t > 48 h, jonka jälkeen 1. punnitus ja 2. punnitus t > 12 h.
- Kerätty suodatin: stabilointiaika t > 48 h, jonka jälkeen 1. punnitus ja 2. punnitus 24–48 h:n kuluessa.
- Vaaka: mikроваaka, erotuskyky < 10 µg ja mitta alueella 0–200 mg, kalibroinnin tarkkuus on < 25 µg.

Yksistään nämä vaatimukset ovat vaativia ja edellyttävät laboratorioilta investointia ja henkilökuntaa punnitusten suorittamiseksi. Markkinoilla on myös automaattisia punnitus järjestelmiä, joissa niin punnitusolosuhteiden säätö, kuin itse punnituskin voidaan suorittaa automaattisesti. Tällaiset järjestelmät tulevat kannattaviksi silloin, kun vertailumenetelmää käytetään laajasti hyväksi.

Hiukkasten massapitoisuuksien määrittämiseen vertailumenetelmällä tehtävät laadunvarmennustoimet on esitetty liitteessä 10 sisältäen sekä keräimen, että suodattimien punnitusmenetelmän.

Kokonaisleijuma

Leijumamittausten käyttö jatkuvissa mittauksissa on käytännössä loppunut. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosaan tietoja on toimitettu viimeksi vuonna 2011. Käyttö projektiluonteisissa mittauksissa on silti mahdollista esim. rakennustyömaiden, turvetuotannon, murskausasemien tms. vaikutusten arvioinnissa.

Kokonaisleijuman näytteenottoon ja mittaukseen suositellaan menetelmää *SFS 3863:1977 Leijuvan pölyn määrittäminen ilmasta – Tehokeräysmenetelmä*.

Käytettäessä ohjearvovalvontaan kokonaisleijuman mittaukset voidaan tehdä joka vuorokausi, joka toinen vuorokausi tai joka kolmas vuorokausi. Mittauksia tulee tehdä koko kalenterivuosi ja valittua rytmitystä ei saa muuttaa tänä aikana. Hyväksytyjä vuorokausiarvoja tulee olla vuoden ajalta vähintään 100 ja niiden on jakaannuttava tasaisesti vuoden ajalle.

3.1.4 Muiden ilman epäpuhtauksien vertailumenetelmät

Otsonia muodostavat yhdisteet

Otsonia muodostavien yhdisteiden mittauksiin on sisällytettävä vähintään typen oksidien (NO ja NO₂) ja asiaankuuluvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) mittaukset. Typen oksidien ja bentseenin vertailumenetelmät on kuvattu edellä esitetyissä kappaleissa. Muille otsonia muodostavien VOC-yhdisteiden mittauksille ei ole määritetty vertailumenetelmää, vaan jäsenvaltioiden on ilmoitettava komissiolle käytetyt menetelmät. Näitä mittauksia vaaditaan suoritettavan vain yhdellä tausta-asemalla. Ilmatieteen laitos seuraa VOC-yhdisteiden pitoisuuksia Pallaksella.

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt, PAH (bentso(a)pyreeni)

Ilmassa olevien polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen (PAH) aiheuttaman syöpäriskin merkkiaineena käytetään bentso(a)pyreeniä.

PAH-yhdisteiden näytteenoton vertailumenetelmä on sama kuin hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) näytteenottoon käytetty menetelmä *SFS-EN 12341:2014*

Bentso(a)pyreenin mittaamisessa käytettävä vertailumenetelmä on kuvattu standardissa *SFS-EN 15549:2008 Air quality – Standard method for the measurement of the concentration of benzo(a)pyrene in ambient air*. Muiden polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen mittaamisessa voidaan käyttää esimerkiksi standardia *ISO 12884:2000 Ambient air – Determination of total (gas and particle phase) polycyclic aromatic hydrocarbons – Collection on sorbent-backed filters with gas-chromatographic / mass spectrometric analysis* tai teknistä spesifikaatiota *CEN/TS 16645:2014 Ambient air – Method for the measurement of benz[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene,*

benzo[k]fluoranthene, dibenz[a,h]anthracene, indeno[1,2,3-cd]pyrene and benzo[ghi]perylene.

Metallit (arseeni, kadmium, nikkeli, lyijy)

Raskasmetallien (kadmium, lyijy ja nikkeli) ja arseenin näytteenoton vertailumenetelmä on sama kuin hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) näytteenottoon käytetty menetelmä *SFS-EN 12341:2014*.

Raskasmetallien ja arseenin analysoinnin vertailumenetelmä on *SFS-EN 14902:2006 Ambient air quality – Standard method for the measurement of Pb, Cd, As and Ni in the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter*.

Hiukkasmainen orgaaninen hiili (OC), ja epäorgaaninen hiili (EC)

Hiukkasmaisen orgaanisen hiilen (OC) ja epäorgaaniseen hiilen (EC) mittaamisessa käytettävä termo-optinen menetelmä on kuvattu standardissa *SFS-EN 16909:2017 Ambient air — Measurement of elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) deposited on filters*.

Pienhiukkasten kemiallinen koostumus (SO₄²⁻, NO₃⁻, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺)

Pienhiukkasten kemiallisen koostumuksen mittaamisessa voidaan käyttää standardia *EN 16913:2017 Ambient air — Standard method for measurement of NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ in PM_{2,5} as deposited on filters*. Näitä mittauksia vaaditaan suoritettavan vain tausta-alueilla. Ilmatieteen laitos seuraa pienhiukkasten kemiallista koostumusta Pallaksella, Virolahdella ja Utössä.

Laskeuma (As, Cd, Hg, Ni, PAH)

Arseenin, kadmiumin ja nikkelin laskeuman mittaamisessa käytettävä vertailumenetelmä on kuvattu standardissa *SFS-EN 15841:2009 Ambient air quality – Standard method for determination of arsenic, cadmium, lead and nickel in atmospheric deposition*.

Elohopean laskeuman mittaamisessa käytettävä vertailumenetelmä on kuvattu standardissa *SFS-EN 15853:2010 Ambient air quality – Standard method for determination of mercury deposition*.

Bentso(a)pyreenin ja muiden polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen laskeuman mittaamisessa käytettävä vertailumenetelmä on kuvattu standardissa *SFS-EN 15980:2011 Air quality – Determination of the deposition of benz[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenz[a,h]anthracene and indeno[1,2,3-cd]pyrene*.

3.2 Mittalaitteiden tyyppihyväksynät

Vertailumenetelmien standardeihin on sisällytetty myös vaatimukset käytettävien mittalaitteiden tyyppitestauksille. Poikkeuksena tästä on hiukkasten massakonsentraation määrittäminen vertailumenetelmällä, joka perustuu gravimetrisen määrittämiseen. Standardia *EN-12341:2014* ollaan kuitenkin uudistamassa, jolloin myös hiukkasten vertailumenetelmää soveltaville vertailukeräimille laaditaan vastaavat tyyppitestausvaatimukset kuin muillekin vertailumenetelmää soveltaville mittalaitteille. Standardin uudistustyö aloitettiin marraskuussa 2016 ja odotetaan saatavan päätökseen 2018 aikana. Vertailumenetelmästandardit määrittelevät mittaussominaisuudet ja niille kriittiset arvot, jotka mittalaitteiden on täytettävä. Laittevalmistajien on testautettava mittalaitteensa akkreditoidussa testauslaboratoriossa, jonka pätevyysalue sisältää standardin mukaisten mittaussominaisuuksien testauksen. Testaustuloksista laaditaan raportti, jossa on kuvattu tehdyt testit, testipitoisuudet, saadut tulokset sekä testausolosuhteet laboratoriossa ja kentällä tehdyissä testeissä. Vertailumenetelmää soveltava mittalaite voidaan hyväksyä käytettäväksi kun:

- Kaikki mittalaitteen mittaussominaisuudet alittavat sallitut kriittiset arvot (esim. EN 14211)
- Mittaussominaisuuksista laadittu epävarmuusbudjetti täyttää kyseiselle epäpuhtaudelle määritetyn mittausepävarmuuden vaatimuksen (*Vna 79/2017*, liite 8: seurantamenetelmien laatutavoitteet)
- Laboratorio- ja kenttätestausten osalta ympäristöolot ja pitoisuudet vastaavat jäsenmaan olosuhteita
- Tyyppitestausraportti sisältää kuvaukset testeistä ja testituloksista sekä standardin mukaisen epävarmuusbudjetin.

Ilmanlaatuasetuksen mukaan Ilmatieteen laitos vastaa testiraporttien tarkastamisesta ja hyväksymisestä.

Jäsenmaiden avuksi saksalainen testauslaboratorio TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH on ladannut kattavan määrän testausraportteja (www.gal1.de). Näiden läpikäynti ja arviointi on erittäin työlästä. Tätä arviointia helpottamaan on Eurooppalainen yhteistyöelin AQUILA perustanut oman pienryhmän, jonka tehtävänä on käydä läpi tyyppitestaus- ja ekvivalenttisuusraportteja sekä arvioida, miten hyvin testiraportit noudattavat vaatimuksia. AQUILA:n pienryhmä julkaisee tarkistettujen tyyppitestaus- ja ekvivalenttisuusraporttien yhteenvedot AQUILA:n Internet-sivuilla (*AQUILA, 2016*). Yhteenvetoraportteja voi myös tiedustella kansalliselta yhteyshenkilöltä Ilmatieteen laitokselta.

3.3 Mittausmenetelmän vastaavuuden osoittaminen

Ilmanlaatuasetuksen mukaan mittauksissa voidaan käyttää mitä tahansa muuta menetelmää, kunhan osoitetaan, että käytettävä menetelmä antaa vastaavat tulokset vertailumenetelmän kanssa. Hiukkasten mittausmenetelmien osalta on osoitettava, että kyseisen mittausmenetelmän mittaamat tulokset ovat yhteneviä

vertailumenetelmällä saatujen tulosten kanssa. Tällaisella vastaavalla menetelmällä saatuja tuloksia on tarvittaessa korjattava, jotta saadaan vertailumenetelmää vastaavat tulokset. Kokeellisesti vertailumenetelmää vastaavaksi osoitettua menetelmää kutsutaan ekvivalenttimenetelmäksi, jonka tulee täyttää vertailumenetelmälle asetetut laatuvaatimukset (Taulukko 4.1).

EU:n ohje Guide for the Demonstration of Equivalence (*GDE, 2010*) määrittelee testausmenettelyn vastaavuuden osoittamiseksi vertailumenetelmää vastaan kaasumaisten ja hiukasmaisten epäpuhtauksien mittalaitteille sekä hiukkasista tehtäville analyyseille. Ulkoilman kaasumaisten epäpuhtauksien mittauksissa käytetään pääsääntöisesti vertailumenetelmiä. Markkinoille on jo tullut mittausmenetelmiä eräiden kaasumaisten epäpuhtauksien mittauksiin (typpidioksidi, rikkidioksidi, otsoni), jotka eivät ole vertailumenetelmiä, mutta joille on tehty ekvivalenttisuusmittaukset testauslaboratorio TÜV:n toimesta. TÜV on testannut eri menetelmiin perustuvien laitteiden ekvivalenttisuutta vertailumenetelmää vastaan ja ladannut näistä testeistä testausraportteja julkisesti saataville (www.gal1.de). Englantilainen sertifiointijärjestelmä (MCERT) testaa ja hyväksyy ilmanlaadun mittalaitteita (www.sira.uk). Myös AQUILA:n pienryhmä laati näiden testausraporttien arvioimiseksi tarkistuslistan, jonka avulla voidaan tarkistaa, ovatko GDE-ohjeen vaatimukset täytetty kyseisessä testausraportissa. Myös nämä tarkistuslistat ovat saatavilla AQUILA:n sivuilta (<https://ec.europa.eu/jrc/en/aquila>) tai kansalliselta yhteyshenkilöltä.

Ilmatieteen laitos on toteuttanut ekvivalenttisuustestaukset jatkuvatoimisille hiukkasmittausmenetelmille vuosina 2007–2008 Helsingissä (*Waldén et al., 2010*) ja 2014–2015 Kuopiossa (*Waldén et al., 2017*). Kuopion hiukkaslaitevertailussa testit käsittivät kaikki GDE-ohjeen mukaiset testauskampanjat sekä PM₁₀ että PM_{2.5} hiukkasmittauksille. Hiukkaslaitevertailussa olivat mukana seuraavat laitteet: BAM 1030, Dusttrak 8535, FH 62 I-R, Grimm 180, MP101 CLS, Osiris, SHARP 5030 ja TEOM 1405. Näistä BAM 1030, FH 62 I-R, Grimm 180, MP101 CLS, SHARP 5030 ja TEOM 1405 läpäisivät testin molemmilla hiukkaskokoluokilla ja Osiris vain PM₁₀-testin. Liitteessä 5 on esitetty vertailun tuloksena saadut kalibrointikertoimet läpimenneille laitetyypeille molemmille hiukkaskokoluokille. Testeissä PM₁₀-hiukkasvertailu täytti kaikki GDE-vaatimukset testausolosuhteiden, pitoisuustasojen, mittauskampanjoiden, mittausasemien sekä käytetyn vertailumenetelmän osalta. PM_{2.5}-hiukkasvertailun osalta kaikki muut vaatimukset täyttyivät myös, mutta pitoisuustasot jäivät GDE-ohjeen vaatimuksia alhaisimmiksi. Toisaalta PM_{2.5}-pitoisuustasot Suomessa ovat alhaisia ja siihen nähden hiukkasvertailun tulokset myös PM_{2.5}-vertailun osalta ovat käyttökelpoisia.

3.4 Muut kuin vertailumenetelmät

3.4.1 Kaasumaisten yhdisteiden mittausmenetelmät

Kaasumaisten yhdisteiden mittauksissa käytettävät menetelmät noudattavat pääosin vertailumenetelmiä, jotka on kuvattu kappaleessa 3.1.2. Uusia mittausmenetelmiä on kuitenkin kehitetty, joilla pyritään parempaan spesifisyyteen häiritsevien yhdisteiden osalta ja toisaalta parempaan tarkkuuteen, esim:

- IR-spektroskopiaan perustuvat menetelmät (Cavity Ring Down Spectroscopy, CRD, Cavity Attenuated Phase Shift, CAPS), joilla voidaan mitata mm. rikkidioksidia, typpidioksidia ja hiilimonoksidia.
- DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy)
- FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

IR-spektroskopiaan perustuvat CRD- ja CAPS-laitteet ovat yksi sovellus FTIR-laitteista, joissa monikomponenttisuuden sijasta nämä laitteet mittaavat yhtä tai muutamaa yhdistettä. CRD-laitteissa on tyypillisesti yksi puolijohdelaser, joka valitaan yhdistekohtaisesti niin, että laserin aallonpituus osuu tutkittavan yhdisteen absorptioviivan kohdalle. Olisi suotavaa, että absorptioviiva olisi mahdollisimman voimakas ja ettei aivan lähietäisyydellä ole muuta absorptioviivaa, mikä saattaisi häiritä analysointia. FTIR-menetelmässä voidaan laajalla aallonpituusalueella (2,5–15 μm tai vastaavasti aaltolukuna 4000 cm^{-1} – 660 cm^{-1}) keskipitkä- ja pitkäaaltoisella IR-alueella tunnistaa yhdisteitä niiden absorption avulla. Tunnistus tapahtuu joko tunnetun kaasun avulla tai yhdisteiden absorptiospektrien avulla, joita on tallennettu erityisiin spektrikirjastoihin. DOAS-laitteissa tunnistus tapahtuu näkyvän valon aallonpituudella niin ikään tunnistamalla yhdiste sen absorptiospektrin avulla.

Ilmanlaadun mittauksissa FTIR-laitteita käytetään varsin vähän johtuen laitteen kalleudesta sekä myös siitä syystä, että havaintorajat useille yhdisteille ovat liian korkeat ulkoilmamittauksiin. Päästömittauksissa FTIR-laitteita sen sijaan käytetään siitä syystä, että näyteilma sietää olla kuuma mittauskyvetissä, pitoisuustasot ovat riittävän korkeita ja laitteella pystytään mittaamaan useita yhdisteitä samanaikaisesti. CRD- ja CAPS-laitteet ovat vasta tulossa ulkoilmamittauksiin ja odotukset ovat riittävän korkeat, kun useat valmistajat ovat teettäneet CAPS-laitteille ekvivalenttisuustestit. Myös DOAS laitteille on tehty ekvivalenttisuustestejä eri valmistajien toimesta, jolloin myös niitä voidaan käyttää raja-arvoja seuraavissa jatkuvissa mittauksissa (www.gal1.de).

3.4.2 Jatkuvatomiset hiukkasanalysointorit

Jatkuvatomiset hiukkasanalysointorit mittaavat hiukkasten massapitoisuuden tyypillisesti muutamista sekunneista tunnin aikajänteellä. Tähän on syynä tarve saada mitattua nopeita pitoisuusvaihteluja, mutta erityisesti lyhytaikaispitoisuuksia käytetään, kun tiedotetaan ilmanlaadusta yleisölle. Mitattaessa hengitettäviä hiukkasia jatkuvatoimisella analysointorilla, tulee noudattaa standardia *SFS-EN 16450:2017 (Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter ($PM_{10}/PM_{2.5}$))*. Standardi koskee kaikkia automaattisia analysointoreita, jotka perustuvat eri mittausmenetelmiin. Hiukkasstandardi sisältää:

- jatkuvatoimisten hiukkasanalysointorien tyyppitestauksen,
- ekvivalenttisuustestauksen, sekä
- vaatimuksen jatkuvasta vertailusta vertailumenetelmää vastaan.

Jatkuvatoimisten hiukkasanalysaattorien tyyppitestauksessa määritetään mittauss ominaisuudet ja muodostetaan mittausepävarmuusbudjetti, jonka tulee täyttää mittausten laatuvaatimukset (Taulukko 4.1). Standardissa kuvataan suoritettavat testit vastaavalla tavalla kuin kaasumaisten yhdisteiden standardeissa on kuvattu. Ekvivalenttisuuden testaus suoritetaan GDE-ohjeen mukaisesti. Jatkuvan vertailun vaatimus tyyppitestatulle hiukkasanalysaattorille käsittää rinnakkaiset mittaukset vertailumenetelmää vastaan ympäri vuoden siten, että testattavien asemien sekä rinnakkaismittausten lukumäärä riippuu mittausepävarmuudesta, mikä vertailumittauksissa on kyseiselle laitteelle saatu. Tarkemmin asiaa käsitellään luvussa 4.5.6.

Jatkuvatoimisia mittaussmenetelmiä ovat β -säteilyn vaimenemiseen perustuva mittaussmenetelmä, värähtelevään mikrovaakaan perustuva menetelmä sekä optiseen menetelmään perustuva menetelmä. Lisäksi on β -säteilyn vaimenemisen ja optisen menetelmän yhdistelmiä, joissa optisen menetelmän avulla voidaan arvioida hiukkaspitoisuutta nopealla aikaresoluutiolla. Samoin on menetelmiä, joissa β -säteilyn vaimenemiseen perustuvassa menetelmässä näyte kerätään suodattimille, joista sitten voidaan jälkikäteen analysoida esim. raskasmetallit tai kemialliset yhdisteet. Jatkuvat toimisten hiukkasanalysaattorien mittaussalue riippuu mittaussmenetelmästä, mutta on yleisesti vähintäänkin $0\text{--}1\,500\,\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja eräillä laitteilla ulottuen aina $6\,000\,\mu\text{g}/\text{m}^3$. Liitteessä 4 on luettelo jatkuvatoimisista hiukkasmittalaitteista. Jatkuvat toimisille hiukkasmittalaitteille tehtävät laadunvarmennustoimet on esitetty liitteessä 10.

3.4.3 Sensorit

Sensorit ovat kooltaan kevyitä ja hinnaltaan edullisia elektronisia komponentteja tai mittalaitteita, jotka pystyvät ilmaisemaan kaasui- tai hiukkaspitoisuuksia. Sensorit ovat tulleet voimakkaasti markkinoille pääosin niiden käytettävyyden ja hinnan vuoksi käyttökohteinaan ympäristösovellukset (maaperä, vesi ja ilma), teollisuussovellukset, lääketiede ym. Erityisesti ilmanlaadun mittauksiin on tarjolla ja käytössä sensoreita, joiden suorituskyky riittää lukuisten yhdisteiden havainnointiin ilmasta. Sensorien mittaussperiaatteet perustuvat esimerkiksi puolijohteisiin, sähkökemialliseen menetelmään tai hiukkasten osalta pääosin optiseen menetelmään tai sähköiseen vuorovaikutukseen. Puolijohteisiin perustuvat menetelmät ovat tyypillisesti grafeeneja, kaksikerroksisia hiiliatomien muodostamia kiteitä, joihin on istutettu sähköä johtavaa polymeeria, metalleja tai sähköä johtavasta materiaalista valmistettu verkko parantamaan sensorin mittaussominaisuuksia (Novikov, et al., 2016). Sähkökemialliseen menetelmään perustuvien sensoreiden mittausskykyä ulkoilman epäpuhtauksiin ja niiden kalibrointimenetelmiä on testattu mm. Euroopan tutkimuskeskuksessa Isprassa (Spinelle et al., 2013; Spinelle et al. 2015). Euroopan standardointielin, CEN, perusti työryhmän laatimaan teknisen ohjeistuksen sensorien mittaussominaisuuksien määrittämiseksi ulkoilman epäpuhtauksia varten. Työryhmä on laatinut luonnoksen, jonka perusteella sensorien mittaussominaisuuksia voidaan määrittää täyttämään suuntaa-antaville mittauksille vaadittavat laatuavoitteet (taulukko 4.2). Sensorivalmistajat paketoivat sensorit yleensä valmiisiin mittausspaketteihin, joihin sisältyvät itse mittaussensori, mutta myös datan

lähetysohjelma niin, että data voidaan lähettää modeemin avulla pilvipalvelimelle, josta se on sitten kerättävissä datan jatkokäsittelyä varten.

Sensorien mittausominaisuudet poikkeavat huomattavasti vastaavasta vertailumenetelmä soveltavan analysaattorin mittausominaisuuksista, eivätkä sensorit voi kokonaan syrjäyttää näitä menetelmiä ja niiden käyttöä kiinteiden ilmanlaatuasemien mittauksissa. Sensorit ovat käyttökelpoisia alustavassa ilmanlaadun arvioinnissa, alueellisessa kartoituksessa (esim. teollisuuslaitoksen päästöjen vaikutus, maankäyttötutkimukset, etsittäessä kevyen liikenteen väylille puhtaampia kulkuväyliä) sekä altistuskartoituksissa. Suuri ongelma sensorien mittaamien signaalien käsittelylle on se, että valmistajat sulkevat käyttäjiltä pääsyn signaalin käsittelyyn. Tällaisen ”mustan laatikon” mittaamaa signaalia ei voida kontrolloida, sensoria ei voida jäljitettävästi kalibroida, eikä voida tietää miten signaali muuttuu eri mittausympäristöissä. On myös sellaisia sensoreita, joiden mittasignaaliin käyttäjä pääsee käsiksi ja voi näin ollen tehdä tarvittavat signaalin käsittelyt itsenäisesti. Tämä ongelma signaalin käsittelytarpeesta pohjautuu sensorien mittausominaisuuksiin: niiden spesifisyys ei ole samaa luokkaa kuin vertailumenetelmä soveltavan analysaattorin, jolloin monet muut yhdisteet antavat vasteen sensorille ja nämä pitäisi pystyä kompensoimaan jollakin tavalla. Ympäristöolot (lämpötila, paine, ilmankosteus) vaikuttavat merkittävästikin signaaliin ja lisäksi hystereesis eli muutosta vastustava ilmiö, sensorien jännitelähde, sähkömagneettiset kentät sekä tuuli vaikuttavat sensorien mittausominaisuuksiin. Lisäksi sensorien mittausominaisuuksiin vaikuttavat samat tekijät kuin vertailumenetelmää käyttävillä analysaattoreilla: liukuma, toistettavuus, lineaarisuus jne.

Sensorien laadunvarmistusmenettelyjä sovelletaan hieman eri tavalla kuin vertailumenetelmää käyttävien analysaattorien kohdalla. Johtuen interferensseistä sensorit voidaan valmistaa yhtenäiseksi paketiksi, jossa on erilliset sensorit halutuille kaasukomponenteille sekä myös mittausta häiritseville yhdisteille. Näin saadaan tieto itse mitattavista yhdisteistä sekä mittausta häiritsevistä muista yhdisteistä. Signaalin käsittelyssä lasketaan matemaattisesti kaikki häiriöt pois, jolloin jäljelle jää pelkästään mitattavan yhdisteen pitoisuus. Sensoreita voidaan kalibroida jäljitettävillä kalibrintipitoisuuksilla erityisissä kammioissa (passiivinen näytteenotto) tai sitten syöttämällä kalibrintikaasu sensorisysteemin näytteenottolinjaan (aktiivinen näytteenotto). Tällöin sensorisysteemi on rakennettu niin, että laite imee näytteen ja sensorit on asetettu näytekammion reunoille mittauspää kammioon päin. Käytännössä sensorien elinikä on vuodesta kolmeen vuoteen riippuen sensorin stabiiliudesta. Uusi sensori kannattaa mieluummin vaihtaa vanhan tilalle, kuin yrittää kalibroida sensori tiheämmin. Hyvä keino selvittää sensorin vastetta on myös verrata sensoria säännöllisin väliajoin vertailumenetelmää vastaan jatkuvilla mittausasemilla.

3.5 Meteorologinen mittausaineisto

Ilmanlaadun mittauksissa saatujen tulosten validoinnissa sekä tulkinnassa tarvitaan tietoa alueella mittaushetkellä vallinneista meteorologisista tekijöistä. Yleensä tarvittavia tietoja ovat tuulen suunta ja nopeus, lämpötila, ilmanpaine, suhteellinen kosteus sekä sademäärä.

Ilman lämpötila- ja painetietoja tarvitaan hiukkasmittauksissa tilavuusvirran määrittämisessä. Ilman kosteudella on häiritsevää vaikutusta sekä kaasuihin että hiukkasmittauksiin. Tietoa ilman suhteellisesta kosteudesta voi käyttää ilman hiukkaspitoisuuksien tulkintaan.

Lisäksi tulosten tulkinnassa hyödyllisiä ovat tiedot ilmakehän kerrostuneisuudesta. Tiedot auttavat tunnistamaan mm. inversiotilanteet, jolloin tavanomaista korkeampien epäpuhtauspitoisuuksien esiintyminen on mahdollista.

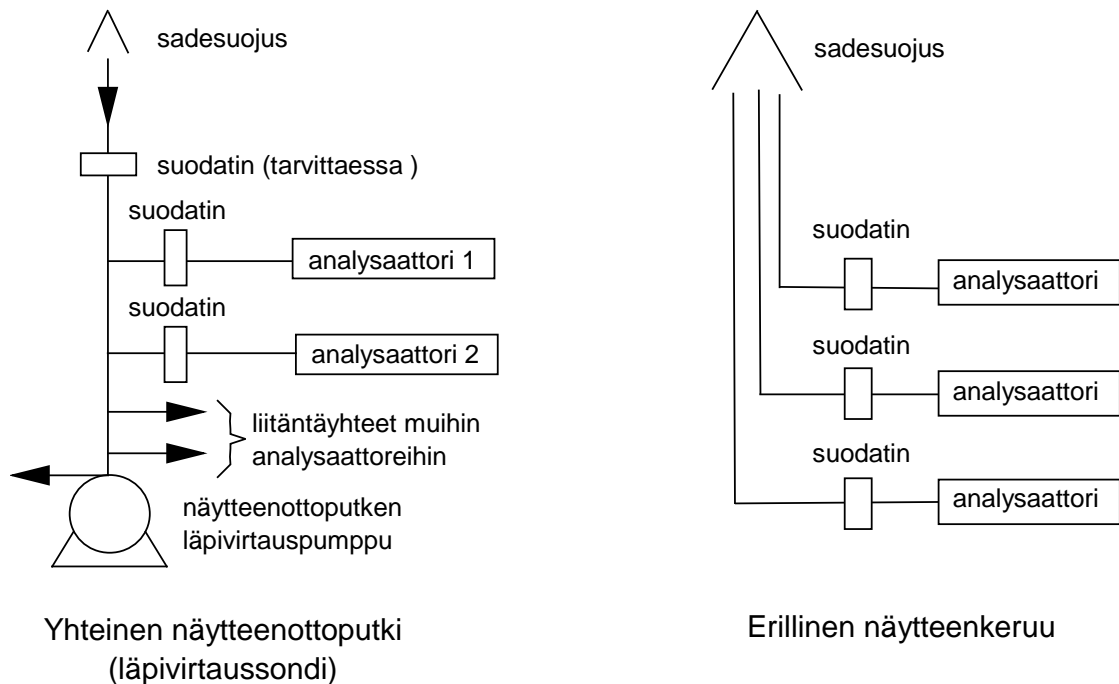
Mikäli meteorologisia mittauksia ei ole mahdollista suorittaa tai tehdyt mittaukset tarvitsevat täydennystä, voidaan tukeutua esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien tuottamiin havaintoihin.

3.6 Laitetila ja näytteenotto

Mittausasema tulee suunnitella rakenteiltaan ja tiloiltaan sellaiseksi, että mittaus- ja näytteenotto voi tapahtua häiriöttä ja laitteiden kalibrointi-, huolto- ja korjaustoimet voidaan tarvittaessa suorittaa vaivatta. Tärkeää on aseman sisälämpötilan kontrolloiminen sopivien lämmitys/jäähdytyslaitteistojen avulla, jos analysaattorin mittausvaste on lämpötilariippuvainen eikä laitteessa ole lämpötilakompensointia. Lämpötilan tulee olla laitteen vaatimuksen mukaisella alueella ja sen tulisi pysyä mahdollisimman stabiilina. Yleensä analysaattorien toiminnan edellyttämä lämpötila-alue on välillä 5–35 °C. Jos lämpötila ylittää laitteen toiminta-alueen lämpötilarajat, on mittaustulosten käyttökelpoisuus arvioitava. Mittausaseman sisälämpötilan seuranta on tarpeellista.

Mittalaitteet on voitava sijoittaa sisätiloissa niin, että ne eivät sähköisesti häiritse toisiaan. Suuren virtamäärän vaativat laitteet, kuten esim. tehokeräimet tulee kytkeä muista mittalaitteista erilliseen virtapiiriin tai samassa virtapiirissä eri sulakkeiden taakse. Mittalaitetila (esim. mittausasema) ja mittalaitteet tulee suojata ukkoselta.

Näytteenottimet (sondit) sijoitetaan niin, että näytteenotto voi tapahtua häiriöttömästi. Näytteenottimen pää tulee suojata sateelta. Näytteenotto voi tapahtua yksittäisellä sondilla ja näytelinjalla tai käyttämällä läpivirtaussondia, jolloin siihen voidaan kytkeä useampi näytelinja (kuva 3.2). Yksittäistä näytteenottolinjaa ei tulisi haaroittaa useammalle eri analysaattorille. Näytteenottolinjat on järjestettävä muodoiltaan ja mitoiltaan sellaisiksi, että näyte siirtyy mahdollisimman muuttumattomana ja edustavana mittalaitteelle. Näytteenottosondien ja -linjojen materiaali ei saa vaikuttaa näytteen koostumukseen. Parhaita materiaaleja ovat polytetrafluoroetyleni (PTFE), perfluoro-etyleni-propyleeni (FEP), borosilikaattilasi ja ruostumaton teräs.



Kuva 3.2. Näytteenoton järjestäminen.

Laitetilan ilmanvaihto tulee järjestää niin, ettei poistoilmavirta häiritse näytteenottoa, ja ilmanvaihdon poistoaukko sijoittaa niin, etteivät poistoilman epäpuhtaudet pääse näytteenottimiin.

Näytteenotinten samoin kuin ulos sijoitettavien keräimien, meteorologisten anturien ja mastojen sijoittamisratkaisussa on huomioitava ilkvallan mahdollisuus.

Yleisiä vaatimuksia näytteenoton järjestämiselle:

- mitattavan yhdisteen pitoisuus ei saisi merkittävästi ($> 2\%$) muuttua näytteenottojärjestelmässä
- näytekaasun viiveaika tulisi minimoida (yleensä joitakin sekunteja), jotta näytelinjan materiaalivaikutus näytekaasuun jäisi mahdollisimman vähäiseksi
- näytteenoton päätilavuusvirran tulee olla riittävän suuri, jotta analysaattorin mittausvasteen viive minimoituisi
- analysaattoreihin haitallisesti vaikuttava paineen alenema näytelinjassa tulisi saada minimoitua
- analysaattoreiden toimintaa häiritsevät aineet tulisi poistaa näytevirrasta (esim. hiukkassuodatin ja erilaiset kuivaimet)
- näytteenottojärjestelmä täytyy huoltaa säännöllisesti.

Tarkemmat eri menetelmiin liittyvät ohjeet esitetään CEN:in vertailumenetelmästandardeissa, joissa määritetään ilman epäpuhtauksien

mittausmenetelmät ja -periaatteet sekä esitetään vaatimukset näytteenotolle, kalibroinnille ja laadunvarmistukselle.

3.7 Mittaustiedon keruu

Ilmanlaatumittauksissa tuotetaan suuri määrä mittaustietoa, jotka tulee kerätä, käsitellä ja tallettaa huolellisesti. Jatkuvatoimisten mittausten tiedonkeruu tapahtuu tiedonkeruujärjestelmän mittausohjelman kautta.

Jatkuvatoimisen analysaattorin antamat mittausarvot välittyvät asemalla sijaitsevaan tiedonkeruuyksikköön joko digitaalisena (sarjaportti) RS-väylällä varustetuissa laitteissa tai analogisena signaalina (jännite- tai virtaviesti), jonka tiedonkeruujärjestelmä muuntaa digitaaliseen muotoon. Tiedonkeruujärjestelmästä mittaustulokset siirretään tietokantaan esimerkiksi 3G tai 4G modeemin välityksellä. Tiedonkeruujärjestelmä tallettaa mittauslaitteiston tuottamat arvot ja laskee niistä haluttuja keskiarvoja. Näitä tarkistamattomia mittaustuloksia ja niistä laskettuja keskiarvoja sanotaan raakatuloksiksi. Mittausohjelma tallettaa myös tietoja mittalaitteiden asetuksista, tilasta ja häiriöistä. Etäyhteydellä voidaan muuttaa mittausohjelman asetuksia ja ohjata mittauksia.

Jatkuvatoimisten analysaattorien lisäksi kentällä voidaan kerätä näytteitä analysoitavaksi laboratorioissa. Tällaisia ovat esimerkiksi suodatinkeruut tai laskeumanäytteiden keräys. Keräykseen liittyvät tiedot (mm. näytteenkeruun aloitus- ja lopetusaika, näytteen ilmamäärä, huomiot) tallennetaan sähköisesti halutussa muodossa tai manuaalisesti lomakkeelle, josta ne voidaan siirtää tietojärjestelmään tulosten laskemista ja jatkokäsittelyä varten.

Osana laatujärjestelmää mittaustiedon keruuseen liittyvät menetelmät on dokumentoitava riittävässä laajuudessa ja varmistettava, että mittaustulosten keräämiseen ja käsittelyyn osallistuvat henkilöt noudattavat menettelytapaohjeita sekä ymmärtävät ja tuntevat niissä esitetyt menetelmät ja laskentakaavat.

Ohjeita tietotekniikan arvioinnista ja hallinnasta on FINAS oppaassa (*FINAS, 2014*). Opas on tarkoitettu avuksi tietotekniikkaan liittyvien asioiden arvioimiseksi akkreditointimenettelyssä, mutta se on hyödyllinen myös muuhun käyttöön sisältäen tietoa tietojärjestelmistä ja tietotekniikan hallintaan ja käyttöön liittyviä asioita. Myös Eurooppalaisten laboratorioiden yhteistyöjärjestö EUROLAB on julkaissut laboratorioille suunnatun oppaan (*EUROLAB Technical Report no 2/2006*) tietotekniikan hallinnasta.

4 LAADUNVARMISTUS

4.1 Yleistä

Laadunvarmistus on tärkeä osa ilmanlaadun mittaustoimintaa. Kaikilla mittausverkoilla ja yksittäisillä mittausasemilla tulee olla laadunvarmistus- ja laadunvalvontajärjestelmä, joka sisältää kuvauksen säännöllisestä kunnossapidosta mittauslaitteiden jatkuvan tarkkuuden varmistamiseksi. Laadunvarmistus- ja laadunvalvontamenettelyä on sovellettava myös tietojen kokoamisessa ja raportoinnissa. Tällainen laatujärjestelmä voidaan laatia esimerkiksi standardin *SFS-EN ISO/IEC 17025* mukaiseksi (*SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys. Yleiset vaatimukset*).

Laadunvarmistuksen tarkoituksena on taata mittaus- tai tutkimustulosten oikeellisuus. Ilmanlaatumittauksissa laadunvarmistuksen yleisinä tavoitteina on, että:

- mittauksista saadut tulokset ovat luotettavia ja kuvaavat mahdollisimman edustavasti tutkittavan alueen ilmanlaatua
- mittaukset ovat riittävän tarkkoja ja toistettavia täyttääkseen mittaustoiminnalle asetetut tavoitteet
- mittauksista saadut tulokset ovat jäljitettävissä hyväksytyihin mittanormaaleihin
- mittauksista saadut tulokset ovat vertailukelpoisia suunnitellussa laajuudessa (mittausverkon sisäisesti, kansallisesti tai kansainvälisesti)
- mittaustulokset ovat ajallisesti yhtäpitäviä (kesäaika, normaaliaika yms.)
- mittauksilla saavutetaan riittävä ajallinen kattavuus ja tuloksille mahdollisimman tasainen ajallinen jakautuminen.

Tavoitteiden saavuttamiseksi laadunvarmistustoimet on kohdistettava mittaustoiminnan jokaiseen eri osatekijään, joita ovat:

- mittausalueiden ja paikkojen valitseminen
- mitattavien yhdisteiden, mittausmenetelmien ja laitteiden valinta
- mittausten yksityiskohtainen suunnittelu
- mittausten suorittaminen ja ylläpito
- laitteiden kalibrointi ja mittanormaalien jäljitettävyyys
- mittaustiedon keruu, käsittely ja säilytys
- mittaustoiminnan dokumentointi
- mittaustulosten esittäminen ja raportointi
- henkilökunnan pätevyys ja koulutus.

4.2 Laatujärjestelmä

Ilmanlaatuasetuksen mukaan kaikilla mittausverkoilla ja yksittäisillä mittausasemilla tulee olla laadunvarmistus- ja laadunvalvontajärjestelmä. Lainsäädäntö ei anna ohjeita käyttämään järjestelmän esikuvana tiettyä standardia, mutta

mittausmenetelmien standardeissa¹¹ suositellaan, että ilmanlaatumittausten laadunvarmistusta suorittavat tahot on akkreditoitu EN ISO/IEC 17025 mukaan tai toimivat standardin vaatimusten mukaisesti. Täten laatujärjestelmän mallina voi olla esimerkiksi kyseinen standardi, jota noudattamalla mittauksia suorittava taho osoittaa suoraan, että niillä on käytössä laatujärjestelmä ja että ne ovat teknisesti päteviä ja kykenevät tuottamaan teknisesti luotettavia tuloksia. Lisäksi tätä standardia noudattamalla organisaatio osoittaa suoraan toimivansa standardin SFS-EN ISO 9001 mukaan. Standardin SFS-EN ISO 9001 käyttö soveltuu kaikkiin organisaatioihin niiden koosta, tyypistä tai toiminnasta riippumatta, mutta standardi ei aseta vaatimuksia laadunvarmistustoimille, joten se ei sovellu yksinään mittaustoiminnan laatujärjestelmän esikuvaksi.

4.2.1 Laatukäsikirja

Laatujärjestelmän keskeinen asiakirja on laatu- tai toimintakäsikirja, johon on kuvattu mittausverkon toiminta kokonaisuudessaan yleisellä tasolla. Siinä tulee myös esittää pääpiirteittäin laatujärjestelmän yleiset periaatteet sekä dokumentaation rakenne. Laatukäsikirjan sisältö voi seurata esimerkiksi standardin *SFS-EN ISO/IEC 17025* sisällysluetteloa tai muuten kattaa standardin aihealueet. Liitteessä 6 on kuvattu standardin *SFS-EN ISO/IEC 17025* mukaiset vaatimukset laatujärjestelmälle. Laatukäsikirjassa on kuvattu ainakin teknisen johdon ja laatupäällikön tehtävät ja vastuut sekä usein myös teknisen ja muun henkilökunnan tehtävät ja vastuut. Laatukäsikirjassa on kuvattu johdon sitoutuminen hyvään ammattitaitoiseen toimintaan ja mittauksen laatuun, johdon kannanotto mittausverkon toiminnan tasosta, laatujärjestelmän tarkoitus, henkilöstön perehtyminen laatuasiakirjoihin ja niiden soveltaminen työssään sekä laboratorion johdon sitoutuminen laatustandardin noudattamiseen ja laatujärjestelmän jatkuvaan parantamiseen. Tätä kutsutaan mittausverkon laatupolitiikaksi.

4.2.2 Dokumentointi

Laatukäsikirjan lisäksi kaikki käytettävät menetelmät ja menettelytavat dokumentoidaan riittävän yksityiskohtaisesti menetelmä- ja työohjeiksi (voidaan käyttää myös muuta nimitystä). Dokumenteissa on syytä näkyä sen laatija/hyväksyjä/vastuuhenkilö, julkaisu- tai muutospäiväys, sivunumerointi ja versionumero, ja niistä on pidettävä ajan tasalla olevaa luetteloa. Mittausverkolla pitää olla menettelytavat, joilla valvotaan myös muita asiakirjoja, kuten säädöksiä, standardeja, manuaaleja ja ohjelmistoja. Menettelyjen tulee varmistaa, että asiakirjan hyväksytty versio on käytössä, ne katselmoidaan ja tarvittaessa päivitetään määräajoin ja vanhentuneet asiakirjat poistetaan välittömästi. Pätemättömät asiakirjat, kuten menetelmäohjeiden vanhat versiot, arkistoidaan dokumentoidusti ja säilytetään määritellyn ajan. Dokumenttien säilytystavasta ja -ajasta tehdään kirjallinen suunnitelma. Arkistoinnin piiriin kuuluvat kaikki kirjalliset laadunvarmistusdokumentit, ohjeistukset ja oleelliset mittaus- ym. tulokset.

¹¹ Standardit SFS-EN 12341, 14211, 14212, 14625, 14626 ja 16450.

4.2.3 *Auditoinnit ja laatujärjestelmän katselmukset*

Laatujärjestelmän oleellisia osia ovat auditoinnit ja johdon katselmukset. Auditoinnit voivat olla joko mittausverkon sisäisiä tai muun tahon tekemiä ulkoisia arviointoja. Sisäisiä auditointeja voi suorittaa esimerkiksi oman organisaation laatupäällikkö tai tehtävään koulutettu teknisen henkilökunnan jäsen, joka ei suoraan työskentele auditoitavana olevan toiminnan parissa. Ulkoisia auditointeja ovat esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen järjestämät kansalliset vertailumittaukset, joihin mittauksia tekevän organisaation tai sen mittauksen laadunvarmistamisesta vastaavan organisaation tulee osallistua. Mittausverkkojen ristiinauditoinnit ovat myös tehokas tapa arvioida omien menettelyjen toimivuutta ja kehittää toimintaa. Lisäksi ulkoisia auditointeja ovat kansallisen akkreditointielimen FINAS:in akkreditoituille laatujärjestelmille suorittamat säännölliset arviointikäynnit. Auditointeja suoritetaan säännöllisesti (usein kerran vuodessa) laaditun ohjelman mukaisesti. Auditointi voi kohdistua mm. tiettyyn menetelmään, käytettyjen menetelmien jäljitettävyyteen, mittauksien laadunvarmistamiseen, tulosten raportointiin tai asiakirjojen valvontaan. Auditointi voi olla vapaamuotoinen tai laadittuun raporttipohjaan kirjattu ja se voi sisältää auditoinnin itse valitsevia aihepiirejä tai ennalta laaditun tarkistuslistan mukaisia osa-alueita.

Laatujärjestelmän katselmus (johdon katselmus) tulee suorittaa säännöllisesti, yleensä kerran vuodessa. Tällöin mittausverkon johto katselee organisaation laatujärjestelmän ja mittauksien toiminnan. Katselmuksessa varmistetaan toiminnan jatkuva sopivuus ja tehokkuus sekä tuodaan esille tarpeelliset muutokset ja parannukset. Katselmus sisältää lisäksi mm. johdon raportoinnin, sisäisen laadunvarmistuksen ja ulkoisten vertailujen tulokset, auditointien havainnot, muutokset työssä ja sen määrässä sekä resurssien soveltuvuuden. Tarkempia ohjeita auditointeihin ja laatujärjestelmän katselmukseen löytyy standardista SFS-EN ISO/IEC 17025.

4.2.4 *Henkilöstön pätevyys*

Mittauksia, näytteenottoa, tulosten tarkastusta ja muuta ilmanlaadun mittauksiin liittyvää toimintaa tekevillä henkilöillä tulee olla tehtäviin soveltuva koulutus tai muuten hankittu pätevyys sekä riittävä perehtyneisyys työtehtäviinsä. Henkilöstön pätevyystietojen pidetään rekisteriä, joka päivitetään säännöllisesti ja josta ilmenee pätevyyden toteutumisajankohta. Uudet henkilöt perehdytetään tehtäviinsä suunnitelmallisesti ja perehdytys dokumentoidaan. Henkilöstölle laaditaan koulutussuunnitelma ja koulutuksesta pidetään kirjaa.

4.2.5 *Laatujärjestelmän poikkeamat*

Toisinaan mittauksien toiminnassa tulee eteen tilanteita, jolloin laatujärjestelmää ei ole voitu jostain syystä noudattaa. Tällaisia tilanteita ovat mm. mittalaitteiden rikkoutumiset tai niiden antamat virheelliset tulokset, vertailukokeiden poikkeavat tulokset tai inhimilliset virheet. Kaikki laatujärjestelmän poikkeamat kirjataan systemaattisesti ja kattavasti ja käsitellään oleellisten henkilöiden, esim.

vastuuhenkilöiden ja/tai esimiehen kanssa. Tapahtuneen poikkeavuuden merkitys arvioidaan ja korjaavat toimenpiteet suoritetaan välittömästi ja dokumentoidaan systemaattisesti. Poikkeamista voidaan pitää omaa yhteistä asiakirjaa tai niitä voidaan kirjata ohjeistuksen mukaisesti erillisiin asiakirjoihin kuten mittauspöytäkirjaan, kalibrointipöytäkirjaan tms.

4.3 Laatu järjestelmän tekniset vaatimukset

Eri mittausverkkojen tulosten saamiseksi kansallisella tasolla samanlaatuisiksi ja keskenään vertailtaviksi tulee kaikilla mittausverkoilla olla käytössään ainakin tietyt vähimmäisvaatimukset täyttävä laatu järjestelmä, joka tulee myös olla riittävässä määrin dokumentoitu. Sama koskee myös konsultteja, jotka vastaavat mittausverkkojen mittauksiin liittyvästä laadunvarmistuksesta eli laitteiden kalibroinnista ja huollosta. Seuraavassa on esitetty laatu järjestelmältä edellytetyt tekniset vaatimukset, jotka kattavat mittaustoiminnan tärkeimmät osa-alueet. Liitteeseen 7 on myös koottu kysymyslista, jonka avulla mittaustoimintaa tilaava taho voi tarkistaa, onko mittauksia suorittavalla taholla toimiva laatu järjestelmä.

4.3.1 Seurantamenetelmien laatu tavoitteet

Ilmanlaadun seurantamenetelmille tulee asettaa laatu tavoitteet. Laatu tavoitteita ovat suurin sallittu epävarmuus, mitattavan aineiston vähimmäismäärä ja mittauksen ajallinen kattavuus. Ilmanlaadumittauksen laatu tason tulee täyttää joko jatkuville tai suuntaa-antaville mittauksille annetut laatu tavoitteet. Asetetut laatu tavoitteet tulee dokumentoida. Laatu tavoitteita on esitelty tarkemmin kappaleessa 4.4.

4.3.2 Menettelytavat mittauspaikan valinnalle

Kaikilla mittauspaikoilla pitää olla yhdenmukaiset valinta- ja sijoittamiskriteerit. Mittauspaikkaa valittaessa tulee noudattaa tämän ohjeen kappaleissa 2.2.3 ja 2.2.4 annettuja ohjeita ja kriteereitä.

Kustakin mittauspaikasta tulee tehdä kuvaus tämän ohjeen liitteessä 1 annettujen ohjeiden mukaisesti.

4.3.3 Mittausmenetelmät ja niiden validointi

Mittausmenetelmien tulee olla vertailumenetelmiä. Lisäksi mittauksissa voidaan käyttää mitä tahansa muuta menetelmää (ekvivalenttimenetelmää), joka antaa vastaavat tulokset kuin vertailumenetelmä. Tällaisella menetelmällä saatuja tuloksia on tarvittaessa korjattava, jotta saataisiin vertailumenetelmää käyttämällä saatavia

tuloksia vastaavat tulokset. Mittalaitteiden tulee olla myös tyyppihyväksyttyjä (ks. 3.2).

Mittalaitteista tulee olla riittävät kirjalliset käyttöohjeet, vähintään laitevalmistajan toimittama manuaali.

Ennen mittaustoiminnan aloittamista uudet mittaussuomenetelmät validoidaan. Validoinnin laajuus määräytyy tarpeen mukaan, esimerkiksi vertailumenetelmille riittää menetelmän ja laitteiston toiminnan tarkistus. Validointitulokset johtopäätöksineen menetelmän soveltuvuudesta aiottuun käyttöön dokumentoidaan.

4.3.4 Mittausten suorittaminen

Mittaukset tulee suorittaa tämän ohjeen kappaleessa 3.6 esitettyjen laitetilaa ja näytteenottoa koskevien vaatimusten ja ohjeiden mukaisesti. Meteorologisten parametrien mittaukset edesauttavat tulosten tulkintaa.

4.3.5 Mittaustietojen keruu

Mittaustiedot tulee kerätä tämän ohjeen kappaleessa 3.7 esitettyjen vaatimusten ja ohjeiden mukaisesti.

4.3.6 Jäljitetyt kalibroinnit

Kalibroinnista tulee olla kirjallinen ohjelma, josta käy ilmi kullekin laitteelle suoritettavat kalibroinnit ja niiden aikataulu. Ohjelman tulee kattaa kaikki kalibroitavia tarvitsevat laitteet, kuten jatkuvatoimiset analysaattorit, keräysperiaatteella toimivat laitteet ja tilavuusvirtamittarit.

Kalibrointiin käytetyn mittanormaanin arvo (esim. permeaatioputki, kaasupullo, siirtonormaalina toimiva analysaattori/kalibraattori, tilavuusvirtaus-mittanormaali) tulee olla jäljitettävä tunnettuun mittanormaaliin. Tällainen mittanormaali voi olla kansallinen tai kansainvälinen mittanormaali, vertailuaine tai primaarimenetelmä, joka määritetään suoraan perussuureen avulla. Jäljitettävyyden ylläpito tulee dokumentoida siten, että koko jäljitettävyyshetken katkeamattomuus on todennettavissa mittanormaalien ja -laitteiden kalibroitodistusten ja sertifikaattien perusteella.

Kalibrointilaitteista tulee olla riittävät kirjalliset käyttöohjeet, vähintään laitevalmistajan manuaali. Kalibroinnissa tulee noudattaa tämän ohjeen luvussa 4.5 annettuja kalibrointiohjeita. Kaikki kalibroinnit ja niihin liittyvät toimenpiteet tulee kirjata kalibrointipöytäkirjaan (ks. liite 8).

4.3.7 Mittauslaitteet ja niiden ylläpito ja huolto

Mittauslaitteet tulee valita mittaustoiminnalle asetettujen kriteerien perusteella. Laitteiden tulee täyttää myös laatujärjestelmän edellyttämät laatukriteerit. Laitteet käsittävät:

- mittauslaitteet (automaattiset, puoliautomaattiset, manuaaliset)
- kalibrointilaitteet ja mittanormaalit (primaari- ja sekundaarinormaalit)
- tilavuusvirta- ym. mittarit
- mittaustulosten keruu-, käsittely- ja tallennuslaitteistot
- mittaus- ja näytteenottovälineistöt (näytteenottimet, näytelinjat, mittauskopit, ilmastointijärjestelmä yms.)

Laitteista ja ohjelmistoista pidetään ajan tasalla olevaa rekisteriä. Uusien laitteiden toimivuus testataan ennen käyttöönottoa ja dokumentoidaan.

Mittalaitteiden ylläpidosta ja huollosta tulee olla kirjallinen suunnitelma, josta käy ilmi kullekin laitteelle suunnitellut tarkistus- ja ylläpitotoimenpiteet sekä huollot mittausasemalla tai laboratoriossa ja niiden aikataulu. Ohjelman tulee sisältää sekä jatkuvatoimisille analysointilaitteille että näytteenottoon perustuvilla laitteilla säännöllisesti tehtävät toimenpiteet, kuten:

- toimintatestit
- laitevalmistajan tarkoittaman laitteen toimintakyvyn tarkastaminen
- virtauksen tarkistukset
- rutiinihuollot
- laadunvarmistustoimenpiteet (ks. liite 10).

Kaikki mittalaitteille tehty ylläpito-, tarkistus- ja huoltotoimet tulee dokumentoida ja dokumentit säilyttää. Mittausasemilla dokumentointi tehdään asemakohtaiseen mittauspöytäkirjaan (ks. liite 9).

4.3.8 Mittaustulosten korjaus ja validointi

Mittaustulokset tulee korjata ja validoida menettelyohjeiden mukaisesti.

Korjauksen ja validoinnin tulee sisältää ainakin teknisiin menetelmiin perustuva tulosten tarkastelu, korjaus ja validointi, johon liittyvät toimenpiteet on esitetty kappaleessa 5.1.

Mittaustulosten validointitoimenpiteet tulee dokumentoida riittävässä laajuudessa, jotta tulokset on mahdollista tarvittaessa todentaa ja jäljittää jälkikäteen.

4.3.9 Mittaustulosten tallennus

Mittaustulokset tulee tallentaa ja säilyttää kappaleissa 5.1 ja 5.3.2 annettujen ohjeiden mukaisesti mittauksia tekevän organisaation omiin tietokantoihin ja

toimittaa Ilmatieteen laitokselle tallennettavaksi ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosaan.

4.3.10 Tulosten raportointi ja tiedotus

Ilmanlaadun seurantatietojen tulee pääsääntöisesti olla julkisia ja yleisesti saatavilla. Tulosten raportointi ja ilmanlaadusta tiedottaminen tulee suorittaa luvuissa 5.3 ja 6 annettujen ohjeiden mukaisesti.

4.3.11 Vertailumittaukset

Ilmatieteen laitos osallistuu kansallisille vertailulaboratorioille järjestettyihin kansainvälisiin vertailumittauksiin ja järjestää kansallisia vertailumittauksia mittauksia tekeville organisaatioille. Tulosten perusteella voidaan arvioida oman mittausjärjestelmän tulosten oikeellisuus. Mittauksia tekevän organisaation tai sen mittauksen laadunvarmentamisesta vastaavan organisaation tulee osallistua kansallisiin vertailumittauksiin (ks. luku 4.7).

4.4 Laatutavoitteet

Ilmanlaadun seurantamenetelmille on annettu ilmanlaatu- ja metalliasetuksissa ilmanlaadun arviointiin liittyvät tietojen laatutavoitteet. Laatutavoitteita ovat:

- sallittu epävarmuus
- mittauksen ajallinen kattavuus
- mittausaineiston vähimmäismäärä

Laatutavoitteiden tarkoituksena on antaa mittausaineiston käyttäjille informaatiota siitä, kuinka luotettavia (mittaustulos \pm mittauksen kokonaisepävarmuus) ja kattavia mittaustulokset ovat. Laatutavoitteet on otettava huomioon ilmanlaadun seurannan suunnittelussa ja ne tulee dokumentoida.

Jatkuville mittauksille annetut laatutavoitteet on esitetty taulukossa 4.1. Jatkuvilla mittauksilla tarkoitetaan kiinteillä mittausasemilla jatkuvatoimisesti tai satunnaisotannalla tehtyjä mittauksia, jotka täyttävät taulukon laatutavoitteet. Vuosittain siirrettävien asemien osalta tulee huomioda, että jos mittaustuloksia on saatu vähintään 85 %:lle vuoden tunneista, voidaan asema katsoa kiinteäksi asemaksi.

Taulukko 4.1 Laatutavoitteet jatkuvien mittausten sallitulle epävarmuudelle, mittausten ajalliselle kattavuudelle ja mittausaineiston vähimmäismäärälle (Vna 79/2017; Vna 113/2017).

Jatkuvat mittaukset	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , CO	PM ₁₀ , PM _{2,5} , Pb	Bentseeni	O ₃	As, Cd, Ni	BaP
Sallittu epävarmuus	15 %	25 %	25 %	15 %	40 %	50 %
Aineiston vähimmäismäärä	90 %	90 %	90 %	75–90 % ¹⁾	90 %	90 %
Ajallinen kattavuus	100 %	100 %	35–90 % ²⁾	100 %	50 %	33 %

¹⁾ 90 % kesällä ja 75 % talvella

²⁾ 35 % kaupunkitausta- ja liikenneasemilla sekä 90 % teollisuusasemilla

Suuntaa-antaville mittauksille annetut laatutavoitteet on esitetty taulukossa 4.2. Suuntaa-antavilla mittauksilla tarkoitetaan kiinteillä tai siirrettävillä mittausasemilla tehtyjä yleensä lyhytkestoisia tai otantaan perustuvia mittauksia. Suuntaa-antavien mittausten laatutavoitteet eivät ole yhtä tiukat kuin jatkuvilla mittauksilla ja niissä voidaan käyttää vertailumenetelmän sijasta jotain muuta menetelmää, mikä täyttää taulukossa 4.2 esitetyt laatutavoitteet. (esimerkiksi passiivikeräimet silloin, kun seurattavan epäpuhtauden pitoisuuksista ei tarvita ajantasaista tietoa, vaan viikon tai pidemmän ajanjakson tieto on riittävää). Suuntaa-antavat mittaukset voivat olla myös korkealaatuisia, mutta lyhytaikaisia mittauksia. Tästä esimerkkinä ovat kiinteillä mittausasemilla vertailumenetelmällä suoritettavat mittaukset, joiden aineiston vähimmäismäärä ei kuitenkaan ole riittävä täyttämään jatkuvilta mittauksilta edellytettävää tasoa. Suuntaa-antavia mittauksia voidaan käyttää täydentävänä ilmanlaadun arviointimenetelmänä erityisesti alueilla, joilla pitoisuudet alittavat ilmanlaadun arviointikynnykset.

Taulukko 4.2. Laatutavoitteet suuntaa-antavien mittausten sallitulle epävarmuudelle, mittausten ajalliselle kattavuudelle ja mittausaineiston vähimmäismäärälle (Vna 79/2017; Vna 113/2017).

Suuntaa antavat mittaukset ¹⁾	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , CO	PM ₁₀ , PM _{2,5} , Pb	Bentseeni	O ₃	As, Cd, Ni	BaP ¹⁾	Laskeuma
Sallittu epävarmuus	25 %	50 %	30 %	30 %	40 %	50 %	70 %
Aineiston vähimmäismäärä	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Ajallinen kattavuus	14 % ²⁾	14 % ²⁾	14 % ²⁾	>10 % kesällä	14 % ³⁾	14 % ³⁾	33 %

¹⁾ Samat laatutavoitteet koskevat myös muita PAH-yhdisteitä kuin bentsoa(a)pyreeniä sekä kaasumaista elohopeaa.

²⁾ Satunnaisotanta yhtenä päivänä viikossa tasaisesti jaettuna koko vuoden ajalle tai kahdeksan viikon mittaista jaksoa tasaisesti jaettuna vuoden ajalle.

³⁾ Näytteenoton on jakauduttava tasaisesti koko vuoden ajalle ja eri viikonpäiville.

Ilmanlaadun mittausten kokonaisepävarmuus (95 % luottamustasolla) arvioidaan CEN-oppaassa *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (ENV 13005:1999) olevien periaatteiden, standardissa ISO 5725:1994 (*Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Parts 1-6*) olevan menetelmän ja CEN-raportissa "Air Quality – Approach to Uncertainty Estimation for Ambient Air Reference Measurement Methods" (CR 14377:2002) olevien ohjeiden mukaisesti. Mittausepävarmuuden arviointia on käsitelty tarkemmin luvussa 4.6.

Mittausaineiston vähimmäismäärää ja mittausten ajallista kattavuutta koskevat vaatimukset eivät sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Ajallisella kattavuudella (Time coverage) tarkoitetaan osuutta kalenterivuodesta, jolloin on suunniteltu tehtävän ilmanlaadun mittauksia ($N_{\text{planned}}/N_{\text{year}}$). Esimerkiksi hiukkassuodattimille joka kolmas päivä tehtävät metallikeruut tarkoittavat 33 % ajallista kattavuutta. Jatkuvilla mittauksilla ajallisen kattavuuden laatuvaatimus on pääsääntöisesti 100 %. Aineiston vähimmäismäärällä (Data capture) tarkoitetaan sitä osuutta ajallisesta kattavuudesta, jolta on mittausaineistoa käytettävissä ($N_{\text{valid}}/N_{\text{time coverage}}$). Aineiston vähimmäismäärän laatutavoite on 90 %, josta vähennetään huoltoihin ja kalibrointeihin arviolta kuluva 5 % ajasta, joten todellinen vähimmäiskattavuus on 85 %. Jatkuvilla mittauksilla se tarkoittaa 310 päivää vuodessa.

4.5 Kalibroinnit, jäljitettävyys ja mittausten ylläpito

4.5.1 Yleistä

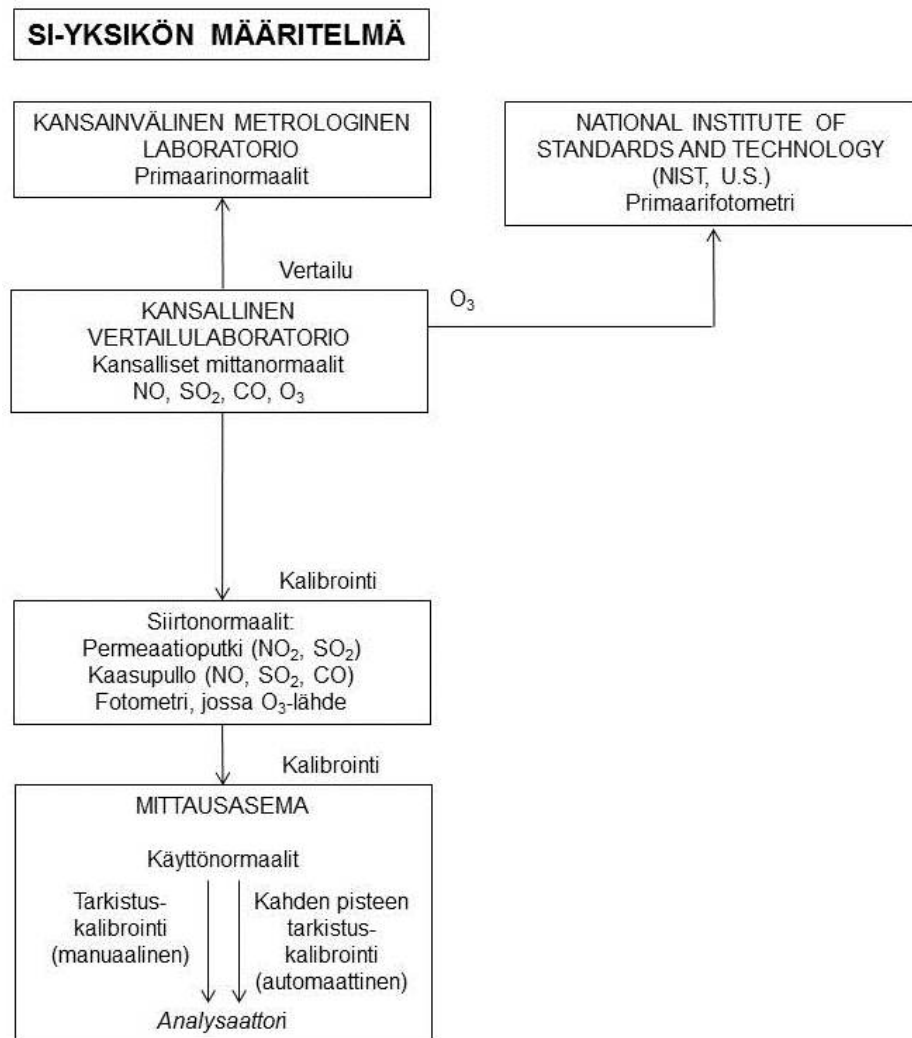
Kalibrointi on laadunvarmistuksen tärkeimpiä tekijöitä. Sen tarkoituksena on kiinnittää mittalaitteen antaman signaalin vaste tunnettuun mittanormaalin arvoon. Käytännössä pitoisuusmittaukset kiinnitetään kalibroitien kautta kansalliseen mittanormaaliin ja sitä kautta ainemäärään. Ilman kaasumaisia epäpuhtauksia mittaavia analysaattoreita kalibroitaessa tulee käyttää sertifioitua kaasunormaalia. Hiukkasmittauksissa, joissa hiukkasten erottelu tai keräys perustuu näytevirtauksen määrään, näytevirtaus kalibroidaan virtausnormaalilla. Samoin suodatinkeruussa punnitukseen käytetty vaaka kalibroidaan massa- ja jäljitettävillä punnuksilla. Virtausmittanormaalina käytetään esim. saippuakuplamittaria, laminaarivirtauselementtiä, kaasukelloa, kuumalanka-anemometriä tai pitot-putkea. Mittalaitteissa olevat tai mittaustulosten laskemiseen tarvittavat lämpötila- ja paineanturit on myös kalibroitava jäljitettävillä mittanormaaleilla.

Kalibrointitaajuus määritetään laatujärjestelmässä ja se on kaasumittauksissa pääsääntöisesti pisimmillään kolme kuukautta. Laitteet kalibroidaan ennen huoltoa, mikäli mahdollista, mutta aina huollon jälkeen, sekä laatujärjestelmässä erikseen mainittujen laadunvarmennustoimien yhteydessä. Kalibrointien lisäksi laitteille tehdään erilaisia laadunvarmistustoimenpiteitä kuten esim. toistettavuus, nolla- ja span-tarkistukset, lineaarisuustesti, NO-NO_x-analysaattorin konvertterin hyötysuhteen testaus, näytesondien testaus sekä lisäksi tarvittavat säännöllisesti suoritettavat huoltotoimenpiteet. Kaikki kalibroinnit ja niihin liittyvät toimenpiteet tulee kirjata kalibrointipöytäkirjaan (ks. liite 8).

Mittalaitteiden ylläpidosta, huollosta ja kalibroinneista tulee olla mittaussuunnitelma, josta käy ilmi kullekin laitteelle suunnitellut toimenpiteet sekä niiden aikataulu. Kaikki mittalaitteille tehtyt toimet tulee dokumentoida asemakohtaiseen mittauspöytäkirjaan (ks. liite 9). Analysaattoreiden kalibroinnit, tarkistukset ja muut laadunvarmistustoimenpiteet kaasumaisten yhdisteiden mittauksissa tehdään EN-standardien kriteereiden mukaisesti (*SFS-EN 14211:2012*, *SFS-EN 14212:2012*, *SFS-EN 14625:2012*, *SFS-EN 14626:2012*).

4.5.2 Jäljitettävyys

Jäljitettävyydellä tarkoitetaan mittaustuloksen tai mittanormaalin yhteyttä ilmoitettuihin referensseihin, yleensä kansallisiin tai kansainvälisiin mittanormaaleihin, sellaisen aukottoman vertailuketjun välityksellä, jossa on ilmoitettu kaikkien vertailujen epävarmuudet (*SFS-OPAS 99:2010*). Kaikilla mittanormaaleilla tulee olla jäljitettävyys ylempään mittanormaaliin. Kansalliset mittanormaalit ovat jäljitettäviä suoraan SI-yksikköön tai ne ovat jäljitettäviä kansainvälisiin primäärinormaaleihin. Mittanormaalien käytössä tulee pyrkiä mahdollisimman lyhyeen jäljitettävyysketjuun, koska ketjun pidetessä epävarmuus kasvaa. Kuvassa 4.1. on esitetty esimerkkinä kaasunormaalien jäljitettävyysketju mittaussuunnitelmissa.



Kuva 4.1. Kaasunormaalien jäljitettävyyshetju

Suomessa kansallisia mittanormaaleja eri suurealueille säilytetään ja ylläpidetään kansallisissa mittanormaallaboratorioissa, jotka toimivat joko Mittatekniikan keskuksessa (nykyisin VTT-MIKES) tai erillisellä sopimuksella tietyissä asiantuntijalaboratorioissa. MIKES voi myös solmia suurealueiden ulkopuolisten asiantuntijalaboratorioiden kanssa sopimuksia kalibrointipalvelujen ylläpidosta. Kaikki em. laboratoriot muodostavat kansallisen mittaustalvclujärjestelmän. Laboratoriot huolehtivat oman suurealueensa kansallisten mittanormaalien tai kalibrointipalveluiden jäljitettävyydestä kansainvälisiin primaarinormaaleihin. Kansalliseen mittaustalvclujärjestelmään kuuluvat mittanormaali- ja sopimusalvcloriot liittyvät myös MIKES:n allekirjoittamaan Kansainvälisen painojen ja mittojen komitean (Comité International des Poids et Mesures, CIPM) kansallisten mittanormaalien ja kansallisten metrologian laitosten antamien kalibrointi- ja mittaustodistusten vastavuoioiseen tunnustamissopimukseen (Mutual Recognition Arrangement, MRA).

Ilmanlaadun mittauksien tulee olla jäljitettäviä. Kalibrointiin käytettävistä mittanormaaleista tulee olla kalibrointitodistus, joka osoittaa mittanormaanin arvon, sen kokonaisepävarmuuden sekä jäljitettävyyshetken korkeimpaan primaarinormaaliin joko suoraan tai muiden mittanormaalien avulla. Jäljitettävyyshetken katkeamattomuus tulee siten olla todennettavissa mittanormaalien ja -laitteiden kalibrointitodistusten ja sertifikaattien perusteella. Ilmatieteen laitos toimii kansallisena mittanormaallaboratoriona ilmanlaadun osalta. Toiminta perustuu Ilmatieteen laitoksen ja MIKES:n kesken solmittuun sopimukseen. Tämä sopimus edellyttää, että Ilmatieteen laitos ylläpitää kansallisia mittanormaaleja ilmanlaadun kannalta keskeisimmillä kaasumaisilla epäpuhtauksilla, joille on määritelty ilmanlaadun raja-arvot. Samalla Ilmatieteen laitos liittyi kansainväliseen MRA-sopimukseen. MRA-sopimuksen myötä Ilmatieteen laitoksella on velvollisuus osallistua maailmanlaajuisiin ns. avainvertailuihin, joiden perusteella hyväksytään mittanormaallaboratorioiden kalibrointi- ja mittaustekniikat.

Mittatekniikan keskus ylläpitää seuraavien suureiden mittanormaaleja: massa, sähkö, pituus, aika, taajuus, lämpötila, kosteus, paine, kaasuvirtaus, vääntömomentti, voima ja akustiikka. MIKES julkaisee vuosittain kansallisten mittanormaali- ja sopimuslaboratorioiden tiedot, jotka ovat myös nähtävissä keskuksen www-sivuilla (www.mikes.fi).

4.5.3 Analysointilaitteiden kalibrointi kaasumittauksissa

Analysointilaitteen kalibrointiin voidaan käyttää usealla eri menetelmällä tuotettuja kaasuja (taulukko 4.3.)

Taulukko 4.3 Menetelmät kalibrointikaasujen tuottamiseen.

Menetelmä	Kaasukomponentit	Jäljitettävyys / Käytetty standardi
Kaasusylinteri	NO, NO ₂ , SO ₂ , CO	SFS-EN ISO 6142:2007 SFS-EN ISO 6143:2007
Dynaaminen laimennus	NO, NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃	SFS-EN ISO 6145-6:2009 tai SFS-EN ISO 6145-7:2010 SFS-EN ISO 6145-10:2009
Permeaatio	SO ₂ , NO ₂	SFS-EN ISO 6144:2007
Staatinnainen laimennus	NO, SO ₂ , CO	ISO 15337:2009
Kaasufluorimetri	NO ₂ , O ₃	ISO 13964:1998, 5.2 kohta b
Kaasun tuotto O ₃ -generaattorilla	O ₃	ISO 13964: 1998, 6.2/6.2.1/6.2.2 ja 7/7.1
Primääri UV-referenssifotometri	O ₃	

Dynaamisessa laimennusmenetelmässä tunnetun ainemäärän (pitoisuuden) omaava kaasumäärä laimennetaan dynaamisesti (jatkuvasti) laimennuskaasulla. Tuotetun kaasuseoksen pitoisuus saadaan laskettua, kun tunnetaan lähtöpitoisuus sekä lähtökaasun ja laimennuskaasun virtaukset.

Permeaatiomenetelmässä puhdas kaasu on puristettu nestemäiseen muotoon umpinaisessa putkessa, jossa osa putken rakenteesta on valmistettu kaasua läpäisevästä aineesta. Asettamalla putki kammioon, jossa lämpötila ja paine ovat vakioita, siirtyy (permeoituu) putkesta kaasua läpäisevän kalvon läpi kammioon. Punnitsemalla putki tietyin väliajoin saadaan poistuneen kaasun määrä määritettyä ja olettamalla kaasun tuotto vakioiksi voidaan putken tuotto määrittää. Permeaatioputken tuoton määrittäminen perustuu gravimetriaan. Permeaatiomenetelmää voidaan pitää primaarimenetelmänä vain, jos tuoton kokonaispätevyys voidaan laskea. Tämä ehto on vaikea toteuttaa, jos vallitsevat olosuhteet eivät ole pysyneet vakioina. Menetelmä on kuitenkin varsin yleisesti käytetty sen edullisuuden vuoksi. Huolellisella työllä ja stabiileilla uuneilla menetelmällä päästään alle 3 % epätarkkuuteen.

Staattisessa menetelmässä tunnettu tilavuus puhdasta ainetta (nestemäisessä/kaasumaisessa muodossa) sekoitetaan laimennuskaasuun säiliössä, jonka tilavuus tunnetaan. Staattinen laimennusmenetelmä on primaarinen menetelmä, koska tuotetun standardikaasun pitoisuuden laskeminen perustuu perusyksiköiden, tilavuuden ja paineen, määrittämiseen. Sekoituskammio voi olla normaalipaineinen tai paineistettu. Jälkimmäisen ratkaisun etuna on, että kammion koko on pienempi, kaasu on helpommin sekoitettavissa ja sen syöttö kalibrointia varten on helpompaa. Monipistekalibroinnissa voidaan tuottaa jokainen tarvittava kaasupitoisuus erikseen tai tuottamalla ensin väkevä pitoisuus ja lisäämällä kammioon laimennusilmaa tietyin välein ja laskemalla uusi pitoisuustaso.

Kaasufaasititraus on esitetty tarkemmin luvussa 4.5.4.

Käytettyjen kalibrointikaasujen tulee olla jäljitettyjä kansallisesti hyväksytyihin mittanormaaleihin ja kokonaispätevyys on tunnettava. Kokonaispätevyys sisältää koko jäljitettävyydestä aiheutuvan epävarmuuskomponentin. Mittausepävarmuuksien laskeminen on esitetty luvussa 4.6. Suurin sallittu mittausepävarmuus on 5 % (luottamusvälillä 95 %). Kalibrointiin käytettävän laimennusilman tulee olla tarkoitusta varten riittävän puhdasta (kaupallista synteettistä tai suodatettua ilmaa). Käytettävän nollakaasun pitoisuus ei saa ylittää analysaattorin havaintorajaa. Kalibroinneissa ja nolla-/span-tarkastuksissa tulee käyttää eri kaasuja.

Kalibrointi tehdään mittauspaikalla samoissa olosuhteissa kuin mikä vallitsee varsinaisissa mittauksissa. Laboratoriokalibroinnissa on huolehdittava, että laitteen kalibrointi ei muutu viettäessä laite kentälle.

Kalibroinnit suoritetaan vähintään kolmen kuukauden välein joko monipistekalibrointina tai mittaamalla nolla- ja kalibrointipitoisuutta, jolloin suositeltava kalibrointipitoisuus on 70–80 % varmennettavasta mittausalueesta. Kalibroinnin avulla määritetään analysaattorin vaste ja liukuma. Kalibrointiväli voidaan pidentää kuuteen kuukauteen mikäli analysaattorin liukuma kolmen

kuukauden ajanjaksolla nolla- ja span-tarkistusmittauksissa on ≤ 2 %. Tällöin myös standardin edellyttämät vaatimukset nolla- ja span-kaasuille tulee täyttyä (ks. liite 10).

Ennen kalibroinnin aloittamista on varmistuttava siitä, että kalibroitava laite ja kalibraattori ovat stabiloituneet riittävästi. Laitevalmistajat antavat ohjeet laitteiden lämpenemisajoista, mutta kylmän laitteen toiminnan tasaantuminen saattaa kestää usein kauemmin kuin laitevalmistaja ilmoittaa. Tuotaessa laite kentältä laboratorioon on hyvänä tapana antaa laitteen olla toiminnassa yli yön ja aloittaa kalibrointi vasta seuraavana päivänä.

Kalibrointi tehdään mittauskäytössä olevalle analysaattorille siinä kunnossa kuin se mittaushetkellä on, mutta myös aina kun laitteelle on tehty sellaisia korjauksia tai säätöjä, jotka aiheuttavat merkittäviä muutoksia sen mittaustuloksiin. Tämä siis merkitsee kahta peräkkäistä kalibrointia, joiden välillä laitteelle on tehty huolto- tai säätötoimet. Mittaustulokset voidaan korjata matemaattisesti kalibrointiyhtälön avulla riippumatta laitteen säädöstä. Analysaattorin mittaustuloksia laskettaessa käytetään tarkasteltavan jakson alussa ja lopussa tehtyjä kalibrointeja, jotta voidaan nähdä laitteen liukuma kalibrointivälin aikana. Mittaustulosten matemaattinen korjaus kahden kalibroinnin välillä tehdään yleensä olettaen nollatason ja vahvistuksen liukuman olevan lineaarinen kalibrointivälillä.

Kalibrointi aloitetaan syöttämällä ensin puhdasta laimennusilmaa (nollailmaa) analysaattorille ja tämän jälkeen mitataan kalibrointipitoisuudet. Nollailma ja kalibrointikaasu johdetaan analysaattoriin ennen etusuodatinta. Mitattavan pitoisuuden annetaan tasaantua ennen kuin mittaustulokset huomioidaan kalibrointituloksissa.

Tasaantumisaian jälkeen rekisteröidään 10 yksittäistä mittaustulosta, joista lasketaan mittaustulosten keskiarvot sekä toistettavuuden standardipoikkeama seuraavan kaavan mukaisesti:

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

s_r on toistettavuuden standardipoikkeama (nmol/mol)

x_i on i:nneen mittauksen lukema (nmol/mol)

\bar{x} on 10 mittauslukeman keskiarvo

n on mittauksien lukumäärä, $n = 10$

Liitteessä 10 on määritetty kullekin kaasukomponentille toistettavuustarkistusten toimenpideväli sekä kriteerit lasketuille arvoille.

Kaksipistekalibroinnissa mittaustulokset korjataan kalibroinnista saatujen arvojen avulla käyttäen seuraavaa kaavaa:

$$c = (y - c_{zero}) \times \frac{c_{calgas}}{(c_{cal} - c_{zero})}$$

c on korjattu pitoisuuslukema

y on analysaattorin mittaustuloksesta

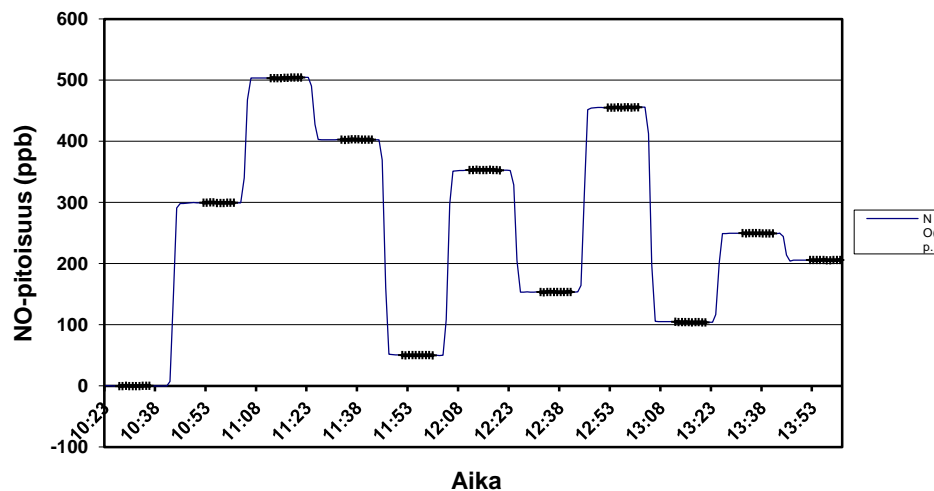
c_{zero} on analysaattorin mittaustuloksesta nollapitoisuudessa

c_{calgas} on kalibroitukaasun pitoisuus

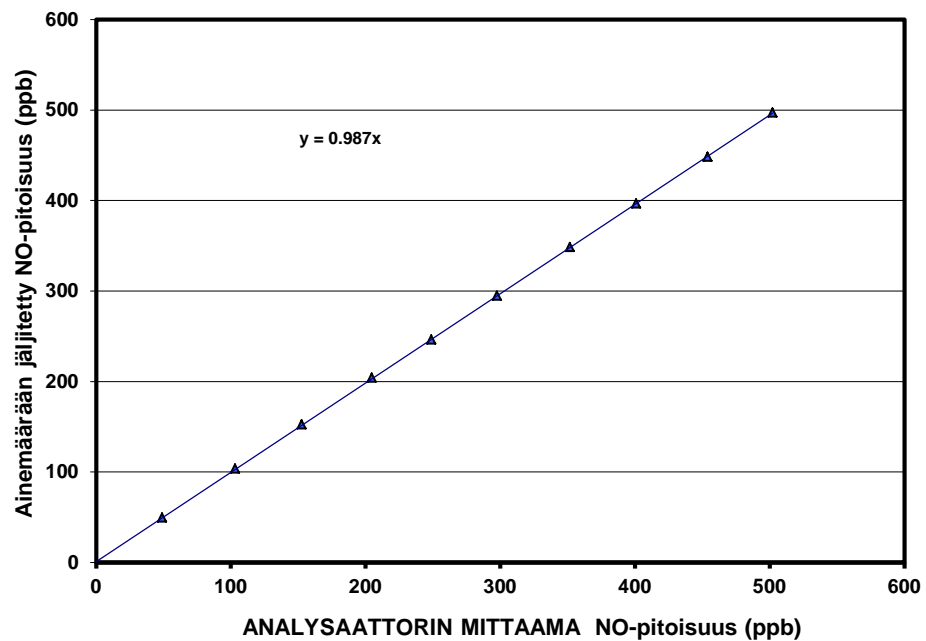
c_{cal} on analysaattorin mittaustuloksesta kalibrointipitoisuudessa

Kalibrointipitoisuuksien keskiarvojen ja mitattujen pitoisuusarvojen pistejoukkoon voidaan sovittaa lineaarinen regressioyhtälö (pienimmän neliösumman menetelmä käyttäen), joka löytyy tilastollisista ohjelmapaketeista ja taulukkolaskentaohjelmista (esim. Excel). Kuvassa 4.2 on esitetty typen oksidien analysaattorin kalibrointi typpimonoksidilla. Kuvassa 4.3 on edellisen kuvan kalibrointitulokset analysoitu regressiomallin avulla.

Typenoksidien analysaattorin kalibrointi typpimonoksidilla

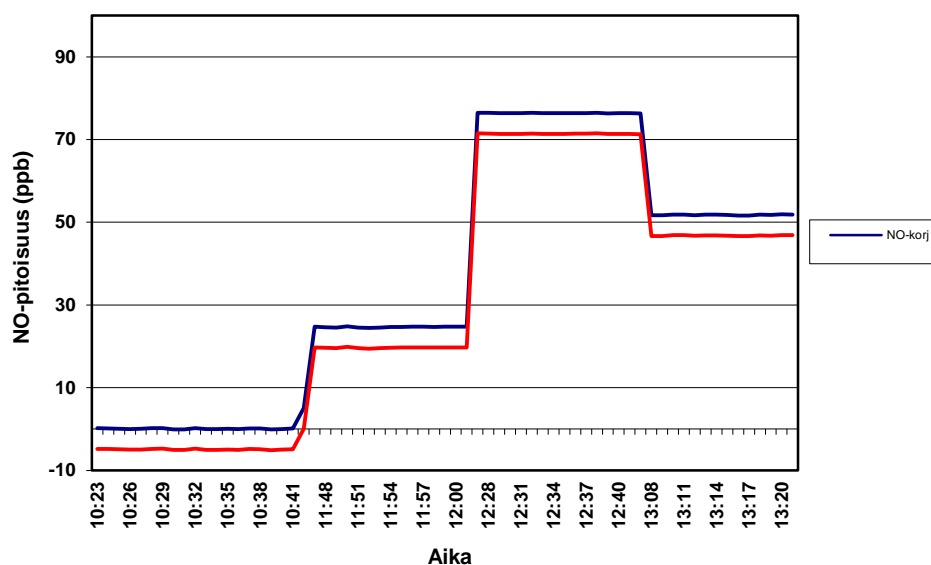


Kuva 4.2 Typen oksidien ($\text{NO} + \text{NO}_2$) analysaattorin kalibrointi typpimonoksidilla. Kuvaan on merkitty analysaattorin mitaamat arvot minuuttiarvoina (jatkuva viiva) ja kalibrointipitoisuuksien laskemiseen tarvittavat pitoisuuskeskiarvot (++), kun pitoisuustaso on tasaantunut.



Kuva 4.3 Regressioanalyysin avulla laskettu analysaattorin mitaaman pitoisuuden ja kalibrointipitoisuuden välinen riippuvuus. Kun kalibrointipitoisuus sijoitetaan y-akselille ja analysaattorin mitaama pitoisuus x-akselille, kertoo regressiosuora suoraan, millä yhtälöllä analysaattorin tulokset on korjattava. Tämä on siis analysaattorin korjausyhtälö.

Keskiarvotuloksia laskettaessa on myös syytä tarkastella puhtaan laimennuskaasun (nollakaasun) aikaisia mittaustuloksia. Mikäli nämä arvot poikkeavat selvästi nolasta, laitteella on erillinen, nolasta poikkeava nolataso (offset). Se voi olla nollatason liukumasta johtuva tai siitä, että nollailma sisältää pienen määrän tutkittavaa kaasua epäpuhtautena. Ennen tulosten jatkokäsittelyä nollatason keskiarvot voidaan vähentää jokaisesta kalibrointiarvosta, jolloin tämä aiheuttaa vain ns. yhdensuuntaissiirtymän tuloksissa. Kuvassa 4.4 on havainnollistettu toimenpidettä. Nollatason säätö ei vaikuta vastefunktion kulmakertoimeen vaan vakiotekijään. Toimenpide yksinkertaistaa tulosten matemaattista korjausta etenkin alhaisilla pitoisuusarvoilla. Nollatason keskiarvo pitää tulosten käsittelyssä vähentää myös mittaesarvoista.



Kuva 4.4 Matemaattisesti tehtävä nollatason korjaus. Kuvassa negatiivinen nollataso (punainen/alempi viiva) korjataan lisäämällä pitoisuusarvoihin negatiivisen nollatason keskiarvo, jolloin saadaan korjattu arvo (sininen/ylempi viiva).

4.5.4 Analysointitarkistukset kaasumittauksissa

Nolla- ja span-tarkistukset

Nolla- ja span-tarkistukset tehdään analysointilaitteelle riittävän usein mahdollisimman vakaan mittauslukeman saavuttamiseksi. Lisäksi on kuitenkin huomioitava, että tavoite hyväksyttävien mittaustulosten ajalliselle kattavuudelle (75 %) kullekin tunnille täyttyisi.

Nolla- ja span-kaasu voidaan syöttää analysointilaitteelle suoraan kaasusylinteristä. Käytössä voi olla myös ulkoinen kalibraattori tai analysointilaitteen sisäisesti toimiva kalibrointiyksikkö.

Suosittelava tarkistuspitoisuus on 70–80 % varmennettavasta mittausalueesta ja aina kun mahdollista, tarkistuskaasut tulisi syöttää analysointilaitteelle ennen etusuodatinta.

Nolla- ja span-tarkistusten sekä näissä käytettyjen kaasujen verifiointien toimenpideväliä sekä toimenpidekriteerit kullekin kaasulle on esitetty liitteessä 10.

Lineaarisuus ja havaintoraja

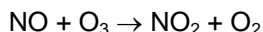
Havaintorajalla tarkoitetaan pienintä pitoisuutta, joka voidaan luotettavasti kyseisellä mittausmenetelmällä ja laitteella havaita. Se lasketaan jakamalla nollapitoisuuksien keskihajonta kalibrointiyhtälön kulmakertoimella ja kertomalla ko.

arvo 3,3:lla. Kalibrointiyhtälöllä tarkoitetaan laitteen vastetta kalibrointipitoisuuksiin eli yhtälöä, jossa jäljitetyt syötetyt pitoisuudet ovat x-akselilla.

Lineaarisuustesti tehdään analysaattorille pääsääntöisesti kerran vuodessa vähintään neljällä pitoisuudella: 0 %, 60 %, 20 % ja 95 % varmennettavasta mittausalueesta. Kussakin pitoisuudessa lukeman annetaan stabiloitua vähintään neljä kertaa vasteaika, minkä jälkeen mittaustuloksesta huomioidaan vähintään kaksi yksittäistä mittaustuloksesta. Kalibrointipitoisuuksien keskiarvojen ja mitattujen pitoisuusarvojen pistejoukkoon voidaan sovittaa lineaarinen regressioyhtälö (kalibrointiyhtälö) siten, että kaikki kalibrointipisteet nolla mukaan lukien otetaan huomioon (ks. myös luku 4.5.3). Kullekin pisteelle määritetään myös poikkeama regressiosuoralta, joka on kalibrointiyhtälöllä lasketun ja mitatun arvon erotus. Lineaarisuus on tämän erotuksen suhde kyseiseen jäljitettyyn pitoisuusarvoon prosentteina. Lineaarisuustestin toimenpidevälit ja toimenpidekriteerit kullekin kaasulle on esitetty liitteessä 10. Liitteessä 11 on Excel-pohja, jolla voidaan laskea lineaarisuus ja havaintoraja.

NO-NO₂-analysointilaitteen konvertterin hyötysuhteen testaus

Kaasufaasititrausta käytetään typpidioksidikonvertterin hyötysuhteen määrittämisessä typen oksideja mittaavissa kemiluminesenssimenetelmää soveltavissa analysointilaitteissa. Menetelmä perustuu reaktioon:



Titraus suoritetaan typpimonoksidin ylimäärällä, jolloin otsonin lisäys aiheuttaa yhtä suuren muutoksen typpimonoksidin pitoisuudessa ja myös yhtä suuren lisäyksen typpidioksidin määrässä, ts.

$$d[\text{O}_3] = d[\text{NO}] = d[\text{NO}_2]$$

Tällöin mittaamalla typpimonoksidin muutos saadaan selville, kuinka paljon typpidioksidia on syntynyt tai kuinka paljon otsonia on syötetty. Kaasuanalysointilaitteella on aina kalibroitava ennen konvertterin hyötysuhteen määrittämistä. Kaasufaasititrauksella voidaan myös kalibroida otsonianalysointilaitteita. On tärkeää huomata, että titraus suoritetaan typpimonoksidin ylimäärällä otsoniin nähden, koska tällöin otsoni kuluu aina loppuun eikä aiheuta NO₂-konvertterin jälkeen reaktiota. Kriteerit ja toimintatavat konvertterin hyötysuhteen määrittämiseksi on esitetty standardissa *SFS-EN 14211*.

Konvertterin hyötysuhde tulee testata vähintään kerran vuodessa ja se voidaan tehdä joko laboratoriossa tai mittauspaikalla. Määritys tehdään vähintään kahdessa eri pitoisuustasossa: n. 50 % ja n. 95 % varmennettavasta NO₂-mittaustilasta. Näiden testien välissä laitteelle syötetään nollapitoisuutta vähintään 30 minuutin ajan.

Seuraavassa on esitetty toimintatapa konvertterin hyötysuhteen määrittämiseksi:

1. Analysaattorin NO- ja NO_x-kanavat kalibroidaan NO-pitoisuudella 50 %–80 % varmennettavasta NO-pitoisuusalueesta (esimerkiksi ~ 480 nmol/mol–770 nmol/mol NO).
2. Syötetään analysaattorille NO-pitoisuutta 50 % varmennettavasta NO-pitoisuusalueesta (esimerkiksi ~ 480 nmol/mol NO) kunnes pitoisuustaso on stabiloitunut, vähintään kuitenkin 12 min.
3. Analysaattorille syötettävään NO-kaasuun lisätään otsonia, jonka pitoisuus on 50 % varmennettavasta NO₂-pitoisuusalueesta (esimerkiksi ~480 nmol/mol NO_x, josta ~ 131 nmol/mol NO₂). Kaasua syötetään analysaattorille kunnes pitoisuustaso on stabiloitunut, vähintään kuitenkin 12 min.
4. Otsonin tuotto kytetään pois, mutta jatketaan NO-kaasun syöttöä analysaattorille (NO-pitoisuus edelleen 50 % varmennettavasta NO-pitoisuusalueesta).
5. Analysaattorille syötettävään NO-kaasuun lisätään otsonia, jonka pitoisuus on 95 % varmennettavasta NO₂-pitoisuusalueesta (esimerkiksi ~ 480 nmol/mol NO_x, josta ~ 248 nmol/mol NO₂). Kaasua syötetään analysaattorille kunnes pitoisuustaso on stabiloitunut, vähintään kuitenkin 12 min.
6. Otsonin tuotto kytetään pois, mutta jatketaan NO-kaasun syöttöä analysaattorille (NO-pitoisuus edelleen 50 % varmennettavasta NO-pitoisuusalueesta).

Konvertterin hyötysuhde lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$E_c = \left(1 - \frac{c_{NOx,init} - c_{NOx,fin}}{c_{NO,init} - c_{NO,fin}} \right)$$

jossa

E_c	on konvertterin hyötysuhde (%)
$c_{NOx,init}$	on NO _x -kanavan pitoisuus lähtötilanteessa, lasketaan neljän yksittäisen NO _x -pitoisuuslukeman keskiarvona (nmol/mol)
$c_{NOx,fin}$	on NO _x -kanavan pitoisuuslukema otsonin lisäyksen jälkeen, lasketaan neljän yksittäisen NO _x -pitoisuuslukeman keskiarvona (nmol/mol)
$c_{NO,init}$	on NO-kanavan pitoisuuslukema lähtötilanteessa, lasketaan neljän yksittäisen NO-pitoisuuslukeman keskiarvona (nmol/mol)
$c_{NO,fin}$	on NO-kanavan pitoisuuslukema otsonin lisäyksen jälkeen, lasketaan neljän yksittäisen NO-pitoisuuslukeman keskiarvona (nmol/mol)

Konvertterin hyötysuhde lasketaan testatuille pitoisuustasolle ja näistä valitaan pienin hyötysuhde.

Joissain laitemalleissa konvertterin matala hyötysuhde saattaa viitata sisäiseen venttiilivuotoon. Siten havaittaessa matala konvertterin hyötysuhde on suositeltavaa tarkistaa sekä konvertteri että venttiili. Toimenpideväli sekä toimenpidekriteerit konvertterin hyötysuhteen testaukseen on esitetty kootusti liitteessä 10.

Mikäli konvertterin hyötysuhde on 95–98 %, on edellisen hyötysuhteen määrittämisen jälkeen kerätty data korjattava seuraavan kaavan mukaisesti:

$$c_{NO_2} = \frac{c_{NOx} - c_{NO}}{\left(\frac{\bar{E}_c}{100}\right)}$$

jossa

c_{NO_2}	on typpidioksidipitoisuus (nmol/mol)
c_{NOx}	on typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuuden summa (nmol/mol)
c_{NO}	on typpimonoksidipitoisuus (nmol/mol)
\bar{E}_c	on edellisellä kerralla määritetyn ja tämänhetkisen konvertterin hyötysuhteen keskiarvo (%)

Maaseututausta-alueilla käytettäviä ei-lämmitettävällä konvertterilla toimivia analysaattoreita, joiden hyötysuhde on pienempi kuin 95 %, voidaan kuitenkin käyttää, mikäli muuntokerroin määritetään ja tulosten voidaan osoittaa olevan ekvivalentteja.

Huom. Yksikammioisen NO_x -analysaattorin NO - ja NO_x -kanavia vaihtavassa venttiilissä oleva vuoto voi aiheuttaa NO_2 -pitoisuuslukeman laskua, joka saattaa vaikuttaa konvertterin hyötysuhteen aliarvioimiseen

Näytesondin testaus

1. Pumpusta aiheutuvan paineen pudotuksen vaikutus

Pumpusta aiheutuvan paineen pudotuksen testauksessa käytetään käsikäyttöistä painemittaria, joka kytketään näytesondin sisäänntuloon. Näytesondin ulostulo jätetään auki, jolloin paine ulostulossa on ulkoilmanpaineessa. Tällöin mittarista voidaan lukea paineen pudotus. Mitattua paineen pudotusta käytetään laskettaessa aiheutunut paineen vaikutus analysaattorin vasteeseen seuraavan kaavan avulla:

$$\Delta X_{\Delta P_m} = b_{gp} \Delta P_m \times 100$$

jossa

$\Delta X_{\Delta P_m}$ on näytesondin pumpusta aiheutuvan paineen pudotuksen vaikutus analysaattorin vasteeseen (%)

b_{gp} on analysaattorin tyyppitestauksessa määritetty näytekaasun paineenmuutokseen vaikuttava herkkyysskerroin (%)

ΔP_m on näytesondin pumpusta aiheutuva paineen pudotus

2. Keräystehokkuus

Testikaasun virtaus näytesondissa tulisi olla sellainen, että viipymisaika on yhtä suuri tai suurempi kuin normaalissa käyttäjän määrittämässä toimintaolosuhteessa. Tämä testi on vaikea toteuttaa käytännössä. Esimerkiksi standardin *SFS-EN 14211:2012* liitteessä D annetaan lisäohjeita testin suorittamiseen.

Keräystehokkuutta voidaan testata esim. seuraavasti:

- Johdetaan tunnettu testikaasupitoisuus näytesondiin ja mitataan pitoisuus suoraan testikaasulähteestä sekä näytesondin portista.
- Lisätään tunnetulla virtauksella tunnettu pitoisuus testikaasua ympäröivään näyteilmaan ja mitataan pitoisuus näytesondin huipulta sekä lisäksi toisella analysaattorilla näytelinjan portista.

Näytesondin pumpusta aiheutuvan paineen pudotuksen vaikutuksen sekä keräystehokkuuden testaamisen toimenpidevälit sekä toimenpidekriteerit kullekin kaasulle on esitetty liitteessä 10.

4.5.5 Huoltotoimenpiteet

Etusuodattimen vaihto

Etusuodattimen käyttöikä määritetään testaamalla mittauspaikalla analysaattoriin syötettävän kaasun hävikki mittaamalla kaasun pitoisuus etusuodattimen kanssa sekä ilman. Kriteeri etusuodattimen vaihdolle on yli 3 %:n hävikki. Testi voidaan tehdä seuraavan ohjeen mukaisesti:

1. Syötä analysaattoriin testikaasu etusuodattimen läpi (ylivuoto T-liittimen kautta)
2. Mittaa testikaasun pitoisuus lähtötilanteessa
3. Mittaa viikon kuluttua testikaasun pitoisuus
4. Vaihda uusi etusuodatin ja mittaa testikaasun pitoisuus uudelleen
5. Laske näiden kahden mitatun pitoisuuden suhteellinen ero (%)
6. Toista toimenpiteet 2 viikon – 4 viikon – 8 viikon jne. jälkeen kunnes kriteeri 3 %:n näytehäviöstä on saavutettu

7. Aseta etusuodattimen maksimikäyttöikä kyseisellä mittauspaikalla laskettujen tulosten perusteella.

Huom. Etusuodatin on kuitenkin vaihdettava vähintään 3 kk välein.

Näytelinjojen testaus ja rutiinihuoltotoimenpiteet

Toimenpidevälit sekä toimenpidekriteerit näytelinjojen testaukseen, puhdistukseen ja vaihtoon kullekin kaasulle on esitetty liitteessä 10. Kuluvien osien vaihto ja muut rutiinitoimenpiteet tehdään laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti.

4.5.6 Jatkuvatoimisten hiukkaslaitteiden laadunvarmennustoimet

Jatkuvatoimisille hiukkasmittalaitteille kentällä tehtävät laadunvarmennustoimet on kuvattu standardissa *SFS-EN 16450:2017 (Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM10/PM2.5))*.

Jatkuvatoimisten hiukkasmittauslaitteille suoritetaan laitteiden toimintaa testaavia tarkistuksia (nolla ja span tarkistuksia), näytevirtauksen sekä menetelmää seuraavien sensorien kalibrointia. Liitteessä 10 on esitelty jatkuvatoimisille hiukkasmittalaitteille tehtävät laadunvarmennustoimet, sekä kalibrointiin tarkoitettujen mittanormaalien laajennettu mittausepävarmuus (U), mikä erityisesti virtausnormaalin osalta on erittäin vaativa. Virtaus mitataan asianmukaisella mittanormaalilla valmistajan ohjeiden mukaisesti. On myös muistettava, että laitteissa olevat lämpötila- ja paineanturit on kalibroitava säännöllisesti. Laitteen toimintakuntoa voidaan tarkkailla seuraamalla laitteen toimintaparametreja (virtausnopeus, paine- ja lämpötila, kosteuspitoisuus jne.) joko tallentamalla toimintaparametreja suoraan tiedonkeruuohjelmaan tai ne voidaan kirjata säännöllisin välein mittauspäiväkirjaan. Toimintaparametrien seurannan lisäksi laitteen toiminta voidaan tarkistaa suorittamalla nolla- ja span-tarkistukset käyttämällä:

1. Laitevalmistajan valmistamia testimassoja (testifoliot), joilla tunnetuilla massoilla voidaan tarkistaa nollataso ja koko mittausalue tai sen osa. Testimassojen materiaali on hyvä tarkistaa valmistajalta, jotta se olisi mahdollisimman edustava kyseiseen mittausympäristöön (kvartsipöly, tiepöly, tms.). Testimassojen käytössä ja säilyttämisessä on noudatettava valmistajan ohjeita, jotta testimassat pysyvät muuttumattomina.
2. Punnittu testisuodatin, joka voidaan asettaa laitteen mittausasetelmaan ja tarkistaa laitteen mittaama tulos punnitustuloksen kanssa. Tällainen testisuodatin voi olla myös itse valmistettu. Tällöin sen massa tulee tarkistaa säännöllisesti, jotta voidaan varmistaa testisuodattimen massan pysyvyys. Tällaisessa tilanteessa testisuodatin voi olla esimerkiksi puhdas suodatin ja ulkoilmasta kerätty näytesuodatin.
3. Tehokas hiukkassuodatin (HEPA suodatin), joka voidaan asettaa näytelinjaan ja tarkistaa laitteen nollataso.
4. Keinotekoisesti tuotetun hiukkaspitoisuuden tai erityisillä hiukkasgeneraattoreilla (nesteaerosoleja tuottamat pirskottimet, uunigeneraattorit ym.) tuotettujen yhdenkokoisten hiukkaspitoisuuksien avulla voidaan tarkistaa laitteen mittaama

massapitoisuus tai hiukkaskokoa mittaavien laitteiden lukumääräpitoisuus. Hiukkaskokoa mittaavat laitteet perustuvat lähinnä optisiin menetelmiin, mutta myös moniasteiset impaktorilaitteet tai sähköiset hiukkaskokoluokittelijat tai näiden yhdistelmät voivat tulla kysymykseen. Esimerkiksi optisissa menetelmissä hiukkaspitoisuus eri kokoluokissa voidaan laskea hiukkaslukumäärän, hiukkasen halkaisijan (yleisemmin geometrinen halkaisija), optisen taitekertoimen ja hiukkasmateriaalin tiheyden avulla.

Laitevalmistajat tarjoavat myös mahdollisuutta tarkistaa laitteen toiminnan osana laitteen huoltoa. Varsinkin silloin, kun käyttäjällä ei ole käytössään mitään edellä mainituista tarkistuskeinoista, laitevalmistajan tarjoama toimintakunnon tarkistus on hyödyllinen. Esimerkiksi optiseen menetelmään perustuvan menetelmän toiminnan tarkistus voi sisältää käytetyn laseryksikön, ilmaisimen ja sensorien (paine-, lämpötila- ja kosteussensorit) toiminnan testauksen, sekä mittausmenetelmän tarkistuksen keinotekoisesti tuotetuilla hiukkasilla tai hiukkaspitoisuudella. Keinotekoisesti tuotetuilla erikokoisilla hiukkasilla voidaan tarkistaa laitteen mittaama hiukkaskokojakauma ja siten tarkistaa laitteen toimintakunto.

Edellä olevien laitteiden toimintaa tarkistavien menetelmien avulla ei voida kuitenkaan jatkuvatoimisen hiukkasanalysointilaitteen mittaamaa hiukkaspitoisuutta kalibroida, vaan se tehdään vertailumittauksilla vertailumenetelmää vastaan. Pääsääntöisesti jatkuvatoimisen hiukkasanalysointilaitteen pitoisuusvasteen kalibrointi käsittää 2-vaiheisen prosessin:

1. Käytetään kalibrointiyhtälöä, mikä on saatu ekvivalenttisuuden osoittamissa mittauksissa vertailumenetelmää vastaan, ks. kappale 3.3).
2. Osoitetaan toistuvilla varmennusmittauksilla, että vastaavuus vertailumenetelmää vastaan säilyy mittausympäristöstä ja vuodenajasta riippumatta. Kalibrointiyhtälöä voidaan tarvittaessa muokata, jotta yhteensopivuus säilyy.

Taulukossa 4.4 on esitetty toistuvien varmennusmittausten tarve ja määrä ekvivalenttisuusmittauksissa saatujen mittausepävarmuuksien perusteella.

Taulukko 4.4 Toistuvien varmennusmittausten tarve ja määrä vertailumenetelmää vastaan. Riittävä määrä on tarkastelun mukainen pienempi asemamäärä.

Mittausepävarmuus	$U \leq 10 \%$	$10 < U \leq 15 \%$	$15 < U \leq 20 \%$	$20 < U \leq 25 \%$
% mittausverkon mittausasemista	10	10	15	20
Rinnakkaismittausten asemalukumäärä	2	3	4	5

Taulukon 4.4 mukainen vähimmäismäärä varmennusmittauksille ($U \leq 10\%$) on kaksi testiasemaa jokaista samaa mallia olevaa ekvivalenttista hiukkasmittalaitetta kohti.

Näyteinlettien huollot ja puhdistukset ovat merkittävä mittaustuloksen luotettavuuteen vaikuttava seikka. Liitteen 10 suositusaikoja näyteinlettien huollon ja puhdistuksen suhteen on noudatettava. Erityisesti tämä pitää paikkansa kokoa luokittelevien inlettien suhteen, jossa niiden toiminta on kriittinen sen suhteen, miten pölyisissä olosuhteissa mittaukset ovat käynnissä. Jatkuvat toimisissa hiukkasanalysaattoreissa käytetään pääsääntöisesti kahden tyyppisiä kokoa luokittelevia inlettejä: US EPA:n tai EU:n suunnittelukriteerien täyttämät inlettit, joiden leikkauskäyrät PM_{10} kokoisille hiukkasille on esitetty kuvassa 3.1. US EPA suunnittelukriteerit täyttämä inlett on laadittu ainoastaan PM_{10} kokoluokalle, jolloin $PM_{2.5}$ mittauksille on käytettävä yhdistelmää PM_{10} inlett, jonka jälkeen asennetaan kokoluokittelija, jonka läpi pääsee vain $PM_{2.5}$ kokoluokan hiukkaset. Usein tällaisena kokoluokittelija käytetään syklonia ns. terävän leikkausrajan omaava sykloni.

Inlettien puhdistamiseen riittää puhdas, mielellään tislattu tai ionivaihdettu vesi. Tarvittaessa voidaan käyttää teknistä alkoholia, jonka jälkeen huuhdellaan puhtaalla vedellä. EU-suunnittelukriteerien perusteella valmistetun inletin impaktiolevy puhdistetaan rasvasta (silikonipitoinen tyhjiörasva), jonka jälkeen levyn pintaan levitetään ohut kerros puhdasta rasvaa. Rasvakerroksen tehtävänä on kiinnittää leikkuurajaa suuremmat hiukkaset levyn pintaan, jotta ne eivät kulkeudu mittausasetelmaan. On tärkeä huomata, että US EPA inlettejä ei rasvata samalla tavalla. Laitevalmistajat ovat antaneet yksityiskohtaiset ohjeet laitteissa käytettävien inlettien puhdistuksesta ja rasvauksesta.

4.5.7 Virtausmittaukset

Virtausmittausten tunteminen on oleellista mm. käytettäessä dynaamista laimennusmenetelmää analysaattoreiden kalibroinnissa, hiukkasmittauksissa sekä käytettäessä manuaalisia näytteenotto- ja mittausmenetelmiä.

Kaasumäärän virtausmittaus tehdään tilavuus- tai massavirtauksena. Erona näille on se, että tilavuusvirtauksessa mitataan suoraan tilavuutta ja massavirtauksessa mittaus perustuu tiheyden mittaamiseen. Tiheyden mittaus voidaan tehdä suoraan tai epäsuorasti paineen ja lämpötilan avulla. Näin ollen massavirtausmittauksissa lämpötilan ja paineen tunteminen on oleellista mittausten suorittamiseksi. Myös kaasun kosteus ja siinä mahdollisesti olevat muut epäpuhtaudet (esim. hiukkaset) vaikuttavat mittaustulokseen. Mittaustulos kiinnitetään sovittuun lämpötila- ja painearvoon, joka voi olla esimerkiksi vallitseva olosuhde tai NTP-olosuhde ($T=273K$; $P=101,3\text{ kPa}$) tai muu määritelty lämpötila- ja paineolosuhde (esim. $T=293K$ tai $298K$, $P=101,3\text{ kPa}$). Normaalisti voidaan käyttää ideaalikaasujen tilanyhtälöä massavirtauksen ja tilavuusvirtausten laskemisessa.

Mittalaitteiden käytössä on huomioitava, että mittaukset tehdään samalla kaasulla kuin kalibrointi. Mikäli mittaustilanteessa käytetään eri kaasua kuin kalibroinnissa, mittaustulokset korjataan kaasujen tiheyden huomioivilla korjauskertoimilla.

Esimerkkejä virtausmittaustyypeistä

Tilavuusvirtausta voidaan mitata mm. Pitot-putkella, Venturi-putkella, rotametrilla tai kuplamittarilla (saippuakupla).

Massavirtausmittaukseen voidaan käyttää esim. kaasumäärän punnitsemiseen käytettyä primaarimenetelmää, paine-eroon perustuvaa virtauselementtiä, kuumalanka-anemometria, massavirtausmittaria tai kriittistä/kalibroituja aukkoja.

Eräät virtausmittausmenetelmät ovat mittaustapansa puolesta primaarimenetelmiä. Ne mittaavat joko suoraan perussuureita (pituus, aika, massa) ja ovat jäljitettävissä niihin. Primaarimenetelmänä on gravimetriaan perustuva menetelmä, jossa puhdasta kaasua (esim. typpi, N_2) sisältävästä kaasusylinteristä johdetaan vakioitu kaasuvirtaus kalibroitavalle mittarille tunnetun ajan. Kun sylinteri punnitaan ennen ja jälkeen virtauksen, saadaan keskimääräinen massavirtaus laskettua. Myös kuplamittari perustuu primaarimenetelmään, jossa mitattavan kaasun tilavuusvirta mitataan tilavuuden ja ajan avulla.

Virtausmittareiden kalibrointi

Virtausmittareiden säännöllinen kalibrointi ja niiden stabiiliuden seuranta on oleellinen osa mittausten varmentamista. Mittarit on kalibroitava riittävän usein luotettavien mittaustulosten takaamiseksi. Käyttäjän on todennettava mittarin stabiilius kalibrointien avulla, jolloin hän voi määrittää tarpeellisen kalibrointivälin.

Kaasuvirtausten kalibroinneissa käytetään kalibrointikaasuna yleisimmin typpeä, puhdistettua paineilmaa tai synteettistä ilmaa riippuen siitä, millaiseen käyttöön virtausmittari on tarkoitettu. Virtauskalibrointien yhteydessä olisi syytä kalibroida myös virtauslaitteessa mahdollisesti olevat lämpötila- ja paineanturit.

SI-yksikköön jäljitettyjä virtauskalibrointeja tehdään Suomessa esim. akkreditoidusti Ilmatieteen laitoksella Ilmanlaadun vertailulaboratoriossa. Kansallisena mittanormaali-laboratoriona kaasuvirtauksille toimii VTT/MIKES.

4.6 Mittausepävarmuuden määrittäminen

Mittausepävarmuus on mittaustulokseen liittyvä suure, joka kuvaa mittaussuureen arvojen oletettua vaihtelua. Fysikaalisissa mittauksissa (esim. lämpötila, paine) mittauservojen vaihtelu saadaan usein selvitettyä toistokokein. Kun toistokoe suoritetaan riittävän monta kertaa, tuloksista laskettu keskiarvo ja sen keskihajonta antavat hyvän kuvan mittauservojen vaihtelusta. Jos vielä voidaan olettaa, että mittaustulosten hajonta noudattaa normaalijakaumaa, kuvaa mittausten keskiarvo todennäköisintä arvoa ja keskihajonta kattaa 68 % mittaustulosten vaihteluvälistä. Jos vielä keskihajonta kerrotaan tekijällä kaksi, voidaan jo 95 % kaikista tuloksista esittää keskiarvon ja tämän laajennetun keskihajonnan avulla. Ilmanlaatumittauksissa ei ole mahdollisuutta tehdä edellä olevan esimerkin mukaisia toistokokeita, vaan tyypillisesti on käytössä yksi analyytikööri ja yksi

mittaustulos. Mittaustulokseen liittyvä mittausepävarmuus pitääkin laatia eri tavalla: selvitetään kaikki mittaukseen liittyvät tekijät, joilla on vaikutusta mittaustulokseen sekä arvioidaan jokaisen yksittäisen tekijän vaikutus mittausepävarmuuteen. Näin voidaan muodostaa ns. epävarmuusbudjetti, jonka yhteysvaikutus kuvaa mittaustulokseen liittyvän mittausepävarmuuden.

Ilmanlaadun mittausten epävarmuus koostuu useista eri tekijöistä:

- mittauspaikeen olosuhteet ja edustavuus (sijainti, eri päästölähteet, häiritsevät yhdisteet, lämpötila, ilmanpaine, kosteuspitoisuus, tuuliolosuhteet)
- mittalaitteen ominaisuudet
- näytteenotto (edustavuus, keruutehokkuus, näytteenottovirtaus ja viipymä)
- näytteen käsittely sekä analysointi (materiaali, standardimenetelmät, tarkkuusvaatimukset)
- mittausten huollettavuus ja mittauksiin kohdistetut laadunvarmennustoimet.

Mittauspaikan valintaa ja edustavuutta on käsitelty luvussa 2.2. Mittalaitteen ominaisuudet voidaan jakaa eri lähteisiin esim. fysikaalisiin riippuvuustekijöihin (paine, lämpötila), teknisiin ominaisuuksiin (lineaarisuus, toistettavuus) ja itse mittausmenetelmään (spesifisyys, havaintoraja). Kuten edellä on kuvattu, määrittelevät kappaleissa 3.1.2–3.1.4 luetellut EN-standardit vertailumenetelmään liittyvät mittausominaisuudet ja niiden kriteerit.

Päästömittauksissa näytteenoton voidaan arvioida sisältävän merkittävän määrän mittaustulokseen sisältyvästä mittausepävarmuudesta, kun taas ilmanlaatumittauksissa näytteenoton osuus ei ole merkittävin tekijä. Itse asiassa näytteenoton vaikutusta mittaustulokseen ei oteta huomioon vertailumenetelmiä kuvaavissa EN-standardeissa muuten kuin kohdistamalla tiettyjä laadunvarmennustoimia näytteenottosondiin ja -linjaan (luku 4.5.4) sekä testaamalla määrääjain, ettei näytteenoton vaikutus tuloksiin ylitä sallittua maksimirajaa.

Näytteen käsittely ja analysointi sisältävät potentiaalisen osan mittaustulokseen liittyvästä epävarmuudesta, mikä joudutaan erikseen analysoimaan menetelmien validointien yhteydessä. Tällöin määritetään näytteen käsittelystä mahdollisesti aiheutuvat epävarmuudet sekä itse analysointimenetelmä. Analysointimenetelmä käsittää referenssiaineista ja kalibroinneista aiheutuvat epävarmuudet sekä itse analysointimenetelmään liittyvät epävarmuudet. Jos näytteen käsittely ja analysointi on ulkoistettu, on varmistuttava, että näytteen analysointi tehdään standardimenetelmän mukaisesti tai sen kanssa olevan ekvivalentin menetelmän avulla ja että analysointituloksen mittausepävarmuus on laskettu. Paras tae tuloksen luotettavuuden osoittamiseksi on käyttää akkreditoitua testauslaboratoriota.

Mittausten huollettavuus ja laadunvarmennustoimet vaikuttavat laitteiden toimintaan ja mittaustulosten laatuun. Myös näiden tekijöiden arviointi mittausepävarmuuden osalta on tärkeä huomioida. Mittalaitteiden huollolla tavoitellaan, että laite säilyy sellaisessa mittauskunnossa, missä sen mittausominaisuudet on määritetty. Kuten näytteen analysoinnin osalta myös mittalaitteen kalibrointi sisältää epävarmuutta, mikä on arvioitava erikseen käytettyjen vertailuaineiden (esim. kaasustandardit ja laimennuskaasu) ja

kalibrointimenetelmien (esim. dynaaminen laimennusmenetelmä ja permeaatiomenetelmä) osalta. Kalibrointimenetelmiin liittyvät standardit ja muut julkaisut (ISO 6145-6, ISO 6145-7, ISO 6145-10, Waldén et al., 2014a, Haerri et al. 2014, Haerri et al. 2017) sisältävät tarkempia ohjeita mittausepävarmuuden laskemiseksi eri kalibrointimenetelmiä käyttäen. Voidaan myös käyttää ulkopuolista kalibrointipalvelua, jolloin kalibroinnista aiheutuva mittausepävarmuuden arviointi edellytetään sisältävän suoritettuun palveluun.

Mittauksiin liittyvä epävarmuuskäsite on verrattain nuori, vaikka mittausten virhe on jo kauan ollut tunnistettu. Yksittäiseen mittaukseen liittyvä virhe koostuu satunnaisvirheistä ja systemaattisista virheistä. Laadunvarmistuksen tavoitteena on tunnistaa mittaukseen liittyvät virheet tai epävarmuustekijät ja korjata tai hallita niitä. Mittausten epävarmuus sen sijaan kuvaa mittaustulosten vaihtelualuetta, mikä mittauksiin jää jäljelle, kun systemaattiset ja satunnaiset virheet on eliminoitu tai minimoitu. Se on tilastollinen suure, estimaatti, niille epävarmuustekijöille, jotka liittyvät satunnaisvaihtelun ja systemaattisten tekijöiden epätäydelliseen korjaukseen. On huomattava, että ym. epävarmuuslähteet eivät välttämättä ole toisistaan riippumattomia. Toisistaan riippumattomissa tapauksissa epävarmuustekijät määritetään erikseen ja lasketaan niiden vaikutus mittausepävarmuuteen. Jos epävarmuustekijät ovat toisistaan riippuvia, lasketaan niiden yhteisvaikutus (kovarianssi).

Ilmanlaatumittauksille määritetyt laatutavoitteet sisältävät mittausepävarmuuden, mikä on määritelty ISO:n ohjeen (JCGM 100:2008) mukaisesti ns. laajennetun mittausepävarmuuden avulla. Laajennettu mittausepävarmuus, U , määritetään kattavuustekijän ja yhdistetyn standardiepävarmuuden avulla:

$$U = k \cdot u_c$$

missä kattavuustekijä $k = 2$ vastaa luotettavuustasoa 95 % normaalijakautuneelle tulosjoukolle. Yhdistetty standardiepävarmuus u_c pitää sisällään kaikki mittaustulokseen vaikuttavat epävarmuustekijät. Yksinkertaisimmillaan epävarmuustekijät ovat toisistaan riippumattomia ja voidaan esittää seuraavassa muodossa:

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial w_i} \right)^2 u_i^2 = \sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot u_i^2 = \sum_{i=1}^n u_i^2$$

missä mittaustulosta kuvaavan funktion f osittaisderivaatta lasketaan erikseen kaikkien muuttujiensa suhteen kerrottuna muuttujaa kuvaavalla standardiepävarmuudella u_i . Jos mittaustulosta ei voida esittää funktionaalisessa muodossa, mutta voidaan erottaa kaikki mittaustulokseen vaikuttavat tekijät toisistaan, voidaan yhdistetty standardiepävarmuus laskea yo. kaavan keskimmäisen tai oikeanpuoleisen yhtälön avulla. Keskimmäisessä yhtälössä painotekijöiden c_i arviointi suoritetaan laskemalla suoraan osittaisderivaatasta tai arvioimalla tapauskohtaisesti. Toisistaan riippumattomien standardiepävarmuuksien arviointi on usein työlästä ja vaatii validointimittaukset eri tekijöiden määrittämiseksi. Standardiepävarmuudet voidaan jakaa kahteen luokkaan: tyyppiin A ja B.

- Tyypin A omaava standardiepävarmuus voidaan määrittää tilastollisin menetelmin, esimerkiksi toistokokein laskemalla tulosten keskiarvo sekä keskiarvon hajonta.
- Tyypin B osalta määrittäminen tapahtuu muiden saatavilla olevien tietojen avulla. Tällaisia ovat esimerkiksi kalibrointitodistuksessa annettu mittausepävarmuus tai vertailuaineen osalta referenssiarvon poikkeama tai mittausepävarmuus.

Laajennettu mittausepävarmuus, U , voidaan esittää absoluuttisena arviona (laadullisena arviona) tai suhteellisenä arviona raja-arvopitoisuudesta.

$$U(\%) = \frac{U}{LV}$$

missä U on laajennettu mittausepävarmuus ilmaistuna samassa laadussa kuin mittaustuloskin ja LV on vastaava raja-arvopitoisuus. Saatua tulosta voidaan sitten verrata epäpuhtauden laatutavoitteeseen ja todeta ylittyykö vai alittuuko kyseinen laatutavoite. Suurimmat sallitut mittausepävarmuudet eri yhdisteille on esitetty taulukoissa 4.1 ja 4.2.

4.6.1 Mittausepävarmuuden laskeminen

Kenttäolosuhteissa testattavia mittausominaisuuksia ovat toistettavuus, pitkän ajan liukuma, laitteen käytettävyyden ja toiminta sekä konverterin hyötysuhde. Kalibroinnin vaikutus mittausepävarmuuteen riippuu kalibrointikaasun ja kalibrointijärjestelmän epävarmuudesta sekä kalibrointitiheydestä. Mittalaitteiden tyyppitestauksissa testataan mittausominaisuuksia, jotka vaikuttavat laitteen mittausepävarmuuteen. Näitä mittausominaisuuksia ovat mm. lineaarisuus, toistettavuus, stabiilisuus sekä riippuvuus ympäristötekijöistä (lämpötila, paine, linjajännite) ja mittaustulokseen vaikuttavista häiritsevistä tekijöistä (kemialliset yhdisteet ja kosteus).

Mittausepävarmuuden arviointi tehdään vuosittain mittaukset toteuttavan tahon toimesta. Mittausepävarmuusbudjetin laskentaan on olemassa ilmanlaadun kansallisen vertailulaboratorion laatimia laskentapohjia eri ilman epäpuhtauksille (Waldén, 2014b). Esimerkki mittausepävarmuuden laskemisesta Ilmatieteen laitoksen laatimalla komponenttikohtaisella Excel-pohjalla on esitetty liitteessä 12. Esimerkissä on esitetty laskentaohjelman yhteenvetosivu, jossa on kuvattu täytettävät tiedot. Laskentapohjaa voidaan käyttää laskettaessa mittausverkon mittaamien tulosten mittausepävarmuudet raja-arvopitoisuuksissa. Arvioinnin tavoitteena on saada kuva laadunvarmennustoimien tehokkuudesta ja toimivuudesta sekä siitä, miten laatutavoitteet täyttyvät tunti-, vuorokausi- ja vuositasen raja-arvopitoisuuksilla. Laskentataulukkoon syötetään seuraavat tyyppitestausraporteista ja mittausasemalla tehtävistä kenttätesteistä saatavat tiedot:

Tyypitestausraportti:

- Toistettavuus nollapitoisuudessa
- Toistettavuus testipitoisuudessa
- Lineaarisuus
- Näytteen paineriippuvuus
- Näytteen lämpötilariippuvuus
- Ympäristön lämpötilariippuvuus
- Häiriötekijät (vesi-, hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuus)
- Keskiarvon virhe
- Vasteaika (nousu)
- Vasteaika (lasku)
- Näyte- ja kalibrointiportin ero
- Konvertterin tehokkuus (NO/NO_x-laitteilla).

Kenttätestit mittausasemalla:

- Toistettavuus kentällä
- Nollatason liukuma, 3 kk
- Pitoisuustason liukuma, 3 kk
- Näytekaasun painevaihtelu
- Näytekaasun lämpötilavaihtelu
- Ympäristön lämpötilan vaihtelu
- Jännitteen vaihtelu
- Kemialliset häiriötekijät (vesi, rikkivety, ammoniakki)
- Kalibrointikaasun epävarmuus
- Vuoden mittaustuntien lukumäärä
- Kalibrointitiheys (krt/vuosi)
- Nollakaasun epäpuhtaus.

4.7 Vertailumittaukset

Laadunvarmennusjärjestelmän toimivuus osoitetaan käytännössä osallistumalla vertailumittauksiin, joissa osallistuvat laboratoriot analysoivat saman näytteen ja ilmoittavat saamansa tuloksen. Vertailumittauksissa realisoituu laboratorion laadunvarmennusjärjestelmien toimivuus ja oikeellisuus. Vertailumittauksissa mittaajat määrittävät vertailuaineiden tai -näytteiden arvot rutiinitoiminnassaan käyttämillään menetelmillä pyrkien kuitenkin parhaimpaan mahdolliseen laatuun.

Vertailumittauksissa voidaan todentaa oman laboratorion tulosten oikeellisuus sellaiseen vertailuarvoon nähden, jonka jäljitettävyyden on primaarimenetelmään tai SI-yksikköön. Vertailumittaukset voidaan järjestää myös niin, että tulosten vertailu suoritetaan vain osallistuneiden laboratoriorien tulosten kesken, jolloin ei kuitenkaan voida verrata tulosten oikeellisuutta.

Ensin mainittuja vertailumittauksia järjestävät metrologiset laitokset tai korkean metrologisen tason omaavat laboratoriot. Vertailunäytteen arvo on tunnettu ja sille annettu epävarmuus kuvaa näytteen jäljitettävyyssketjun SI-yksikköön asti. Vertailumittaukseen osallistuminen antaa laboratoriolle mahdollisuuden

systemaattisten virhelähteiden tarkistamiseen ja oman järjestelmän epävarmuusbudjetin arviointiin. Tällaisia vertailumittauksia järjestetään yleensä kansallisille metrologia- tai vertailulaboratorioille.

Suurin osa vertailumittauksista järjestetään niin, että vertailunäytteen arvoa ei tunneta tarkasti, vaan sen arvo määritetään osallistuneiden laboratorioiden antamien tulosten tunnuslukuna (esim. mediaani tai ns. robust-keskiarvo) tai sitä ei ilmoiteta lainkaan. Tarkkaan ottaen vertailumittaus ei anna kuvaa laboratorion tulosten oikeellisuudesta, mutta tulokset ovat hyvinkin vertailukelpoisia osallistuneiden laboratorioiden kesken. Usein tulokset osoittavat laboratorioille korjaavien toimenpiteiden tarpeen ja kohteen.

Vertailumittaukset voidaan toteuttaa näytettä kierrättämällä tai kokoamalla osallistujat yhteen testitilaisuuteen. Vertailumittaukset voivat käsittää joko yhden vertailtavan arvon tai useita vertailuarvoja. Jälkimmäinen tapaus on suositeltavaa, koska tällöin laboratorion kalibrointimenetelmä tulee myös osaksi vertailua.

Vertailumittausten järjestäminen on kansallisten vertailulaboratorioiden tehtävä. Ilmatieteen laitos toimii Suomessa ilmanlaadun kansallisena vertailulaboratoriona. Ilmatieteen laitos osallistuu kansallisille vertailulaboratorioille järjestettäviin kansainvälisiin vertailumittauksiin ja järjestää kansallisia vertailumittauksia. Ilmanlaadun mittausverkon tai sen mittausten laadunvarmistuksesta vastaavan toimijan tulee osallistua kansallisiin vertailumittauksiin. Tämä on erityisen tärkeätä niiden mittausten osalta, joiden tietoja raportoidaan EU:lle.

Kansalliset vertailumittaukset kaasumaisille ilman epäpuhtauksille on tehty Suomessa vuosina 2003, 2006 ja 2011 (*Waldén et al., 2004; Waldén et al., 2008 ja Waldén et al., 2015*). Vertailumittausten ohessa mittausasemilla on suoritettu ns. järjestelmäauditointeja. Vertailumittauksia kaasumaisille komponenteille suoritetaan noin viiden vuoden välein.

Ilmanlaatuasetuksessa on täsmennetty eräitä ilmanlaadun kansallisten vertailulaboratorioiden keskeisiä tehtäviä. Vertailulaboratorion on osallistuttava komission järjestämiin vertailumittauksiin vähintään kolmen vuoden välein hyväksyttävin tuloksin. Kansallisella tasolla vertailulaboratorio tarkistaa mittausverkkojen laatujärjestelmät tarvittaessa ja vähintään joka viides vuosi. Lisäksi suositellaan akkreditointia niille vertailulaboratorioille, jotka suorittavat kansallisia vertailumittauksia.

5 TULOSTEN KÄSITTELY JA RAPORTOINTI

5.1 Mittausarvojen korjaus ja validointi

Ennen tulosten raportointia mittaustulokset tarvittaessa korjataan kalibrointitietojen perusteella ja suoritetaan mittaustulosten validointi eli hyväksymismenettely. Validoinnissa selvitetään täytyvätkö mittaustulosten käyttöä koskevat laatuvaatimukset yksittäisten mittaustulosten osalta. Laadultaan epäilyttävät mittaussarvot arvioidaan laatuselitykseen kirjattujen ohjeiden mukaisesti. Arvioinnin jälkeen mittaussarvo merkitään joko validiksi (hyväksytyksi) tai ei-validiksi (hylätyksi). Jatkuvat mittaukset riittää yleensä validointi tuntikeskiarvoille, koska tunti on yleensä lyhin raportoitava aika ilmanlaadun seurannassa. Validoinnin suorittavalla henkilöllä tulee olla hyvät tiedot mittauslaitteiden ominaisuuksista ja epäpuhtauksien käyttäytymisestä.

Mittauksen huolto- ja kalibrointiohjelma pitäisi suunnitella siten, että laitteen säädöt pysyvät kalibrointivälin laatuvaatimusten edellyttämässä rajoissa. Jos arvoja korjataan vahvistuksen tai nollatason ryöminän vuoksi, on tehty korjaukset ja niiden perusteet dokumentoitava. Menettelyohjeissa tulee määritellä, missä tilanteissa korjaus voidaan tehdä ja missä taas tulokset on kokonaan hylättävä.

Syyt poikkeuksellisiin mittaussarvoihin tulee tarkistaa mahdollisimman pian tapahtuman jälkeen. Poikkeuksellisia mittaussarvoja voivat aiheuttaa esimerkiksi analysointivirheet (virtaus, lämpötila), ulkoiset häiriötekijät sekä poikkeukselliset sääolosuhteet ja päästötilanteet. Mittaustulokset validoidessa arvoja tulee vertailla muiden mittausasemien ja mittauskomponenttien tuloksiin. Tiedonkeruujärjestelmä tallentaa yleensä jo mittauksen aikana tietoa tuloksen laadusta merkitsemällä eri koodilla esim. mittausalueen ylitykset sekä laitteiden kalibroinnit, huollot ja toimintahäiriöt. Tiedonkeruujärjestelmän suorittama laatuvaatimusten tarkistaminen on tarkistettava.

Yksittäisten mittaussarvojen validoinnin perusteet voidaan tallettaa esimerkiksi tulokseen liitettävällä koodilla tai erillisellä kirjanpidolla. Myös validoinnissa hylätyt mittaussarvot säilytetään. Dokumentoinnin tulee mahdollistaa kalibrointi- ja huoltosuunnitelman mukaisten huoltojen ja kalibrointien erottelu.

Mittaussarvot, jotka ovat suurempia tai yhtä suuria kuin negatiivinen havaintoraja (–havaintoraja eli havaintorajan arvo negatiivisena) tulee hyväksyä ja käyttää sellaisenaan jatkokäsittelyssä ja -laskennoissa. Arvot, jotka ovat pienempiä kuin negatiivinen havaintoraja, hylätään. Vain tapauksessa, jossa alle havaintorajan olevia tuloksia ei ole saatavilla, arvot voidaan korvata puolet havaintorajasta olevalla arvolla. Nämä tapaukset koskevat tyypillisesti laboratorioanalyysijä, joissa alle havaintorajan oleva arvo on korvattava havaintorajan puolikkaalla. Mikäli raportointivuoden aikana on menetelmän havaintoraja määritetty useamman kerran esimerkiksi kalibrointien yhteydessä, voidaan raportoinnissa ilmoittaa näistä suurin havaintorajan arvo. Havaintorajan laskemista on tarkasteltu kappaleessa 4.5.4 ja liitteessä 11 on Excel-pohja, jolla havaintoraja voidaan laskea.

Alkuperäiset mittaustulokset sekä tiedot niille suoritetuista toimenpiteistä ja niiden perusteista on säilytettävä siten, että raakatulosten korjaus- ja validointimenettely voidaan tarvittaessa tarkistaa ja toistaa. Tiedot toimenpiteiden suorittajasta, hyväksyjästä ja toimenpiteiden ajankohdasta talletetaan. Myös mittausjärjestelmän asetukset ja tulosten muuntokertoimet on tallennettava samoin kuin kalibrointi- ja huoltotiedot.

Alkuperäisten tulosten lisäksi tallennetaan korjatut (kalibrointi-, lämpötila- ja paine-korjaus sekä pitoisuusyksikkömuunnos) ja validoidut tulokset. Tarpeen mukaan tallennetaan myös hyväksytyistä tuloksista laskettuja aikakeskiarvoja ja muita tilastosuureita, esim. ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset pitoisuusarvot.

Mittaustulosten korjaus- ja validointimenettelystä tulee olla kirjallinen kuvaus ja ohjeet laatujärjestelmässä.

5.2 Mittaustulosten käsittely

Ilmanlaadun mittaustuloksia käytetään ilmanlaadun arviointiin. Validoiduista minuutti- tai tuntiarvoista lasketaan keskiarvoja ja muita tunnuslukuja, joita käytetään mm. ilmanlaadun tavoitteisiin vertaamiseen, asemien keskinäiseen vertailuun sekä ilmanlaadun muutosten arviointiin. Mittaustulosten vertaaminen ilmanlaadun tavoitteisiin tulisi kaikkien ilmanlaadun mittaajien tehdä samoilla säännöillä, jotta tulosten perusteella tehtävät ilmanlaadun arvioinnit olisivat vertailukelpoisia.

Tilastollisten tunnuslukujen laskenta suoritetaan yleensä mittausten tiedonkeruujärjestelmien ohjelmilla tai esim. taulukkolaskentaohjelmilla tehdyillä sovelluksilla. Laskentaan käytettyjen tietojärjestelmien laskentatapojen oikeellisuus tulisi varmistaa laskemalla testattavalla järjestelmällä tilastolliset tunnusluvut ja vertaamalla tuloksia varmistetulla tavalla saatuihin lukuihin. Järjestelmälle suoritettujen laskentamenetelmien varmistukset dokumentoidaan. Jos ohjelmasta asennetaan uusi versio, on testaus uusittava.

5.2.1 Merkitsevien numeroiden määrä ja pyöristäminen

Raportoitavassa datassa on oltava vähintään yksi merkitsevä numero enemmän kuin raja- tai tavoitearvon numeerinen arvo. Pyöristäminen on laskutoimituksen viimeinen vaihe ja tehdään vain kerran, koska useampi peräkkäinen pyöristäminen voi muuttaa numeerista arvoa joissakin tapauksissa. Ympäristötavoitteeseen (raja-arvo, tavoitearvo, ohjearvo) vertaamiseksi mittausarvo pyöristetään samaan numeeriseen tarkkuuteen kuin ympäristötavoite. Jos ilman epäpuhtaudelle ei ole olemassa ympäristötavoitetta, tulee pyöristäminen tehdä taulukon 5.1 sääntöjen mukaisesti:

Taulukko 5.1. Pyöristämissäännöt niiden ilman epäpuhtauksien pitoisuuksille, joille ei ole ympäristötavoitetta.

Arvo x	Desimaalien määrä	Esimerkki: ennen pyöristystä	Esimerkki: pyöristyksen jälkeen
$x \geq 10$	kokonaisluku	17,83	18
$1 \leq x < 10$	1 desimaali	2,345	2,3
$0,1 \leq x < 1$	2 desimaalia	0,865	0,87
$0,01 \leq x < 0,1$	3 desimaalia	0,0419	0,042

5.2.2 Pitoisuuksien yksiköt ja vertailuolosuhteet

Ilmanlaadun tavoitteisiin vertaamista varten kaasumaisten aineiden pitoisuudet ilmoitetaan yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (SO_2 , NO , NO_2 , O_3 , bentseeni ja TRS) tai mg/m^3 (CO), missä tilavuus on ilmaistu lämpötilassa $20\text{ }^\circ\text{C} = 293\text{ K}$ ja ilmanpaineessa $1\text{ atm} = 101,3\text{ kPa}$.

Hiukkaspitoisuudet (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, TSP) ja niistä analysoitujen aineiden pitoisuudet ilmoitetaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa. Jotta hiukkastulosten käsittelyssä ja raportoinnissa ei tarvittaisi eri lämpötiloissa ilmaistuja hiukkaspitoisuuksia raja- ja ohjearvovertailuja varten, suositellaan myös ohjearvoihin (PM_{10} , TSP) vertaaminen tehtäväksi ympäristön olosuhteissa ilmaistuilla pitoisuuksilla. Hiukkaspitoisuudet ilmoitetaan yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja niistä analysoidut aineet yksikössä ng/m^3 (arseeni, kadmium, nikkeli, bentso(a)pyreeni) tai $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (lyijy).

Kaasumaisia yhdisteitä käsitellään usein myös yksikössä ppb (parts per billion = miljardisosa = $1/1000\ 000\ 000$). Sen käyttöä tulisi välttää, koska se ei ole SI-yksikkö vaan kerroin (10^{-9}). Vastaava SI-yksikkö on nmol/mol eli 10^{-9} osaa ainetta yhdessä moolissa kaasuseosta. Muunnos massapitoisuudeksi suoritetaan seuraavasti:

Yhden nanomoolin massa mikrogrammoina on: $1 \cdot 10^{-9} \cdot M_x \cdot 10^6$, jossa M_x on aineen moolimassa grammoina. Yhden moolin tilavuus kuutiometreinä (moolitilavuus) V_0 on $22,414 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$ normaaliolosuhteissa $T_0 = 273\text{ K}$ and $P_0 = 101,3\text{ kPa}$.

Moolitilavuus olosuhteissa, T_1 and P_1 , voidaan johtaa ideaalikaasujen tilanyhtälöstä:

$$\frac{P_0 \times V_0}{T_0} = \frac{P_1 \times V_1}{T_1}$$

Yhtälö voidaan johtaa muotoon:

$$X[\mu\text{g}/\text{m}^3] = X[\text{ppb}] \times \frac{M_x}{V_0} \times \frac{T_0}{T_1} \times \frac{p_1}{p_0}$$

missä:

$$p_0 = 101,3 \text{ kPa}$$

$$T_0 = 273 \text{ K}$$

$$V_0 = 22,414 \text{ l/mol.}$$

Taulukossa 5.2 ovat moolimassat ja muuntokertoimet yksikköjen ppb ja $\mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä yleisimmille kaasuyhdisteille lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

Taulukko 5.2 Muuntokertoimet yksikköjen ppb ja $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa) välillä yleisimmin mitatuille kaasumaisille yhdisteille.

Kaasu	Moolimassa [g/mol]	ppb → $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa) → ppb
O ₃	47,99709	2,00	0,500
NO ₂	46,00449	1,912	0,523
NO	30,00546	1,247	0,802
SO ₂	64,05706	2,66	0,376
CO	28,00863	1,16	0,86
TRS ¹⁾	32,0655	1,33	0,75
C ₆ H ₆	78,10464	3,25	0,308

¹⁾ ilmaistuna rikkinä

Typen oksidien pitoisuus ilmoitetaan typpidioksidina. Se lasketaan typpidioksidin ja typpimonoksidin pitoisuuden summana (yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$) muuntamalla mitattu typpimonoksidipitoisuus (yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ensin typpidioksidiksi kertomalla arvo luvulla 1,53 ja laskemalla sen jälkeen näin saatu pitoisuusarvo ja typpidioksidin mitattu pitoisuus (yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$) yhteen.

$$\text{NO}_x [\mu\text{gNO}_2/\text{m}^3] = \text{NO}_2 [\mu\text{g}/\text{m}^3] + 1,53 * \text{NO} [\mu\text{g}/\text{m}^3]$$

5.2.3 Pitoisuuskeskiarvojen laskeminen

Tuntiarvolla tarkoitetaan yhden tunnin kestäneen näytteenoton pitoisuusarvoa tai lyhytaikaisemmista tuloksista laskettua keskiarvoa yhden tunnin ajalta. Jatkuvoimaisissa mittauksissa tuntiarvo voidaan hyväksyä, jos sen laskemiseen käytettävät arvot kattavat ajallisesti vähintään 75 % tunnista. Mittaustulosten vertailtavuuden vuoksi tuntiarvojen tulisi edustaa aikaa, joka alkaa tasatunnista. Otsonin tavoitearvot on määritelty siten, että niihin verrannollisten tunnuslukujen laskemiseen tarvitaan tasatunnein alkavat tuntiarvot.

Vuorokausiarvolla tarkoitetaan vuorokauden kestäneen näytteenoton pitoisuusarvoa tai tuntiarvoista laskettua vuorokausikeskiarvoa. Tuntiarvoista laskettu vuorokausiarvo voidaan hyväksyä, jos tuntiarvoista on hyväksyttyjä yli 75 % eli vähintään 18 tuntia, ja peräkkäisiä puuttuvia tuntiarvoja on korkeintaan 25 % eli kuusi tuntia. Ilmanlaadun tavoitteisiin verrattaessa on suositeltavaa, että tuntiarvoista lasketut vuorokausiarvot edustavat aikaa, joka alkaa keskiyöllä Suomen normaaliaikaa.

Näytteenottoon perustuvissa menetelmissä näytteenoton alkuaika ei kuitenkaan tarvitse olla keskiyö. Näytteenoton alkukellonajan tulisi mahdollisuuksien mukaan olla kuitenkin päivästä toiseen sama tasatunti ja näytteenoton alkuaika on raportoitava toimitettaessa tietoja ympäristönsuojelun tietojärjestelmään.

Kahdeksan tunnin arvolla tarkoitetaan kahdeksan peräkkäisen tuntiarvon keskiarvoa. Tuntiarvoja on oltava käytettävissä vähintään kuusi. Pidemmän ajan tilastoja laskettaessa on suositeltavaa merkitä kahdeksan tunnin arvo kuuluvaksi sille päivälle, jolloin kahdeksan tunnin jakso päättyy. Vuoden, kuukauden tai päivän ensimmäisen kahdeksan tunnin arvo edustaa siten ajanjaksoa, joka alkaa edeltävänä päivänä klo 17:00 ja päättyy ko. päivänä klo 01:00. Vuoden, kuukauden tai päivän viimeinen 8 tunnin jakso taas alkaa viimeisenä päivänä klo 16:00 ja päättyy klo 24:00.

Liukuva kahdeksan tunnin arvo lasketaan jokaiselle vuorokauden tunnille (24 arvoa/vrk). Jos vähintään kuutta tuntia ei ole käytettävissä arvon laskemiseksi, arvo merkitään hylätyksi. Suurin vuorokauden kahdeksan tunnin arvo lasketaan, jos käytettävissä on vähintään 75 % vuorokauden liukuvista kahdeksan tunnin arvoista eli käytettävissä on vähintään 18 arvoa, muutoin arvo merkitään hylätyksi. Kahdeksan tunnin liukuvia keskiarvoja lasketaan otsoni- ja hiilimonoksidipitoisuuksille.

Vuosikeskiarvo lasketaan siitä aikasarjasta, jonka aikaresoluutio on pienin. Esimerkiksi jos sekä tuntiarvot että vuorokausiarvot ovat käytettävissä, vuosikeskiarvo lasketaan tuntiarvoista. Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä mittauksissa laatutavoite koko vuoden aineiston vähimmäismäärälle on pääsääntöisesti 90 %, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Tavoitteen täyttymisen arvioimiseksi vähennetään ensin kalibrointien tai normaalin kunnossapidon vuoksi menetettyjen mittaustulosten yhteismäärä koko vuoden suurimmasta mahdollisesta mittauservojen määrästä. Pienin hyväksyttävä laatutavoitteen täyttävä aineiston määrä on 90 % tästä erotuksesta. Yleisesti kalibrointien ja normaalin kunnossapidon vuoksi menetetään tuntiarvoja 5 % vuoden tunneista, joka voidaan suoraan vähentää laatutavoitteen 90 %:sta eli laatutavoitteena käytetään 85 % vuoden tunneista. Otsonin kohdalla lisäksi laatutavoitteena on 85 % kesäajan (huhtikuun alusta syyskuun loppuun) tunneista ja 70 % talviajan tunneista.

Vuosikeskiarvon laskeminen kokoomanäytteistä. Laboratoriossa analysoitavia 24 tunnin suodatinnäytteitä voidaan käyttötarpeen mukaan yhdistää ja analysoida kokoomanäytteinä enintään kuukauden ajalta, kunhan yhdistäminen tehdään

huolellisuutta noudattaen ja voidaan varmistaa, että näytteet ovat kyseisellä ajanjaksolla stabiileja.

PM₁₀-suodattimilta voidaan kerätä osanäytteitä metallipitoisuuksien analyysiä varten edellyttäen, että osanäyte on riittävän edustava ja että metallipitoisuuksien havaitsemisherkkyys ei huonone asetettuihin laatutavoitteisiin verrattuna. PM₁₀-hiukkasten metallipitoisuuksien päivittäisten mittausten sijaan voidaan tehdä viikoittaisia mittauksia edellyttäen, että viikkonäytteen kerääminen ei vaikuta tulosten luotettavuuteen. Näytteenoton on jakauduttava tasaisesti koko vuoden ajalle ja eri viikonpäiville. Laskeumien mittaamiseksi suositellaan kuukausi- tai viikkonäytteitä koko vuoden ajalle.

AOT40-laskenta otsonipitoisuuksista

AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 ppb) on kasvillisuuden ja metsien otsonikuormitusta kuvaava tunnusluku, joka lasketaan 80 µg/m³ ylittävien otsonin tuntipitoisuuksien ja 80 µg/m³ erotuksen kumulatiivisena summana laskettuna määrätyn ajanjakson päivittäisistä tuntiarvoista.

AOT40 kasvillisuuden suojeluarvo lasketaan 80 µg/m³ ylittävien otsonipitoisuuksien kumulatiivisena summana klo 9:00–21:00 välisenä aikana Suomen normaaliaikaa (10:00–22:00) 1.5.–31.7. väliseltä ajalta.

AOT40 metsien suojeluarvo lasketaan 80 µg/m³ ylittävien otsonipitoisuuksien kumulatiivisena summana klo 9:00–21:00 välisenä aikana Suomen normaaliaikaa (10:00–22:00) 1.5.–31.9. väliseltä ajalta. Metsien suojeluarvon kriittinen taso on 10 000 µg/m³*h.

5.2.4 Tunnuslukujen laskeminen

Verrattaessa mittaustuloksista laskettuja tunnuslukuja raja-, tavoite- ja ohjearvoihin, on tarkistettava, täyttyvätkö mittaustulosten määrälle asetetut vaatimukset. Jos vaatimukset tai laatutavoitteet eivät täyty, on siitä mainittava tulosten esittämisen ja raportoinnin yhteydessä. Puutteellisestakin aineistosta voi kuitenkin todeta raja-, tavoite tai ohjearvon ylittymisen, mikäli ilmanlaatutavoitteen ylittäviä pitoisuuksia on enemmän kuin sallittu määrä.

Mittausten laatutavoitteet ovat erilaiset jatkuville ja suuntaa-antaville mittauksille. Mikäli suuntaa-antavissa mittauksissa aineiston määrä ei ole riittävä, voi ylittymistä arvioida käyttämällä soveltuvaa tilastollista estimaattia. Mittausten tulisi kuitenkin silloinkin olla ajallisesti tasaisesti jakautuneita vuoden ajalle. Taulukossa 5.3 on esitetty eri epäpuhtauksille sallittujen ylitysten määrä, raja- tai tavoitearvoon verrattava arvo ja sitä vastaava tilastollinen estimaatti.

Taulukko 5.3 Sallittujen ylitysten määrä, raja- tai tavoitearvoon verrattava arvo ja sitä vastaava tilastollinen estimaatti (*European Commission, 2013*).

Epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa	Raja- tai tavoitearvoon verrattava arvo	Vastaava prosenttipiste
SO ₂	päivä	3	4. suurin	99,2 %-piste
	tunti	24	25. suurin	99,73 %-piste
NO ₂	tunti	18	19. suurin	99,79 %-piste
PM ₁₀	päivä	35	36. suurin	90,4 %-piste
O ₃	päivä	25	26. suurin	93,2 %-piste

Aineiston q. prosenttipiste on se aineiston pitoisuusarvo, jota pienempiä tai yhtä suuria pitoisuusarvoja aineistossa on q %. Verrattaessa mittaustuloksia ohjearvoihin aineiston prosenttipiste lasketaan seuraavasti:

Aineiston hyväksytyt pitoisuusarvot järjestetään suuruusjärjestykseen pienimmästä suurimpaan:

$$X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_K \leq \dots \leq X_{N-1} \leq X_N$$

Aineiston q. prosenttipiste on arvo X_K , missä $K = (q/100) * N$ pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun, kun N on hyväksyttyjen arvojen lukumäärä tarkastelujaksolla.

5.3 Raportointi

Mittaustulosten raportoinnin tulisi olla säännöllistä ja tavoittaa kaikki ilmanlaadusta tietoa tarvitsevat. Raportointikanavaa ja esittämistapaa valittaessa on otettava huomioon, kenelle ilmanlaadusta kerrotaan ja mitä tietoja tämä tarvitsee.

5.3.1 Vuosi- ja osavuosiraportit

Säännöllinen ilmanlaaturaportointi voi käsittää mm. kuukausi-, osavuosi- ja vuosiraportteja sekä erillisiä mittausraportteja. Mittaustuloksia voidaan välittää myös mittausverkon omilla verkkosivuilla sekä erillisillä tiedotteilla. Tiedottamisesta kerrotaan tarkemmin luvussa 6.

Mitatuista epäpuhtauksista tulee laatia vuosittain raportti, joka voidaan julkaista painettuna tai sähköisessä muodossa. Vuosiraportti tehdään kalenterivuoden päätyttyä. Vuosiraportissa esitetään tarkkailun tavoitteet, mittausten toteuttaminen ja pitoisuustulokset sekä arvioidaan mittausten edustavuutta ja luotettavuutta. Pitoisuuksia verrataan ilmanlaadun raja-, tavoite- sekä tarpeen mukaan ohjearvoihin ja arvioidaan menneen vuoden ilmanlaatua mittaustulosten

perusteella. Jos ilmanlaadun tavoitteet ylittyvät, arvioidaan vuosiraportissa kyseisten ylitysten terveys- ja ympäristövaikutuksia sekä todennäköisiä syitä. Vuosiraportissa tulee esittää myös pidemmän ajan trendejä ilmanlaatuilanteen ja päästöjen kehittymisestä. Esimerkki vuosiraportin rungosta on esitetty liitteessä 13.

Ilmanlaadun osavuositarkastukset esimerkiksi vuodenajoittain ovat myös yksi tapa tiedottaa ilmanlaadun mittaustuloksista. Neljännesvuosiyhteenvedot toimitetaan yleensä sähköisessä muodossa verkkosivujen tai sähköpostilistojen välityksellä.

5.3.2 Tietojen raportointi ympäristönsuojelun tietojärjestelmään ja EU:n AIRBASE-ilmanlaatatietokantaan

Ilmatieteen laitos ylläpitää ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmansuojeluosaa ja kerää ilmanlaadun seurantamittausten tiedot ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. Ilmatieteen laitos kerää Suomen jatkuvatoimisten mittausten reaaliaikaiset tiedot kerran tunnissa Ilmatieteen laitoksen tietojärjestelmään ja toimittaa EU:lle raportoitavat tiedot edelleen Euroopan Ympäristökeskukseen (EEA).

Tarkistetut ilmanlaadun mittaustiedot tallennetaan vuosittain ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosaan. Nämä aineistot sisältävät tarkistetut jatkuvatoimisten mittausten tiedot sekä laboratorioanalyysistä saadut mittaustiedot. Mittaajien on toimitettava kalenterivuoden varmistetut mittaustiedot seuraavan vuoden maaliskuun 15. päivään mennessä. Tiedot siirretään joko FTP-siirtona suoraan mittausohjelmasta Ilmatieteen laitoksen palvelimelle tai Excel-lomakkeella osoitteeseen ilse@fmi.fi. Tietojen toimittamisesta annetaan mittausverkoille erilliset ohjeet vuosittain mittaustulosten toimittamispyynnön yhteydessä. Muita ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosaan toimitettavia aineistoja ovat tiedot mittausverkoista, mittausmenetelmistä, mittausten tarkoituksesta, mitatuista yhdisteistä, raja- ja tavoitearvojen ylityksistä sekä ylittymisen syistä ja muista tarpeellisista seikoista. Tietoja käytetään edellisen vuoden ilmanlaadun arvioinnissa ja siitä tiedottamisessa.

Ilmatieteen laitos kerää varmistetut tiedot tietokantaan ja raportoi ne EU-velvoitteiden mukaisesti (2011/850/EU; 2008/50/EU; 2004/107/EY) komissiolle ja EEA:n AirBase-ilmanlaatatietokantaan. AirBase-tietokanta on julkinen tietokanta, joka sisältää ilmanlaadun mittausdataa lähes kaikista Euroopan maista (AirBase, 2016). EU-raportoinnissa mukana olevat raja-arvoja valvovat mittausasemat (ns. direktiiviasemat) ja mitattavat epäpuhtaudet on valittu mittausten edustavuuden ja laadun perusteella sekä huomioiden ilmanlaadun seuranta-alueittaiset mittausasemien lukumäärän vähimmäisvaatimukset.

IPR-päätöksen myötä vastavuoroisessa tiedonvaihdossa siirryttiin sähköiseen e-raportointiin 1.1.2014 lähtien. Jäsenmaat raportoivat EU:lle syyskuussa edellisen vuoden tiedot mm. seuranta-alueista, mittausasemista, käytetyistä menetelmistä ja aikasarjatiedot pitoisuuksista. Joulukuussa raportoidaan alustavat tiedot seuraavan vuoden seurannan järjestämisestä sekä mahdollisten ylitysten vaatimat ilmanlaatusuunnitelmat ja -ohjelmat.

IPR-päätöksen myötä tulleita uusia raportoitavia tietoja ovat:

- komponenttikohtaiset tiedot: asemaluokitus, horisontaalinen etäisyys rakennuksesta sekä teollisuusasemille pakolliset tiedot: tärkein päästölähde, ja päästö määrä
- asemakohtaiset tiedot: paikalliset ilmapuhtausolosuhteet
- menetelmäkohtaiset tiedot: laatuun liittyvät tiedot (jäljitettävyyden, mittausepävarmuus, havaintoraja, ajallinen kattavuus jne.) ja web-linkki laatuselostukseen. Mikäli käytössä on muita kuin vertailumenetelmiä, tulee osoittaa vastaavuuksien vertailumenetelmään ja lisätä web-linkki vastaavuusdokumenttiin)

6 TIEDOTTAMINEN

6.1 Yleisön tiedottaminen ja varoittaminen

Ilmanlaatuolosuhteiden eräs keskeinen tavoite on saada ilmanlaadusta riittävästi tietoa. Yleisön saatavilla tulee olla säännöllisesti ajantasaista tietoa kaikkien säänneltyjen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista. Tiedottamisesta on säädetty ilmanlaatuasetuksessa.

Ilmanlaadun mittaustuloksista on tiedotettava ja tietojen tulee olla ilman epäpuhtauksien vaikutuksille herkkien henkilöiden ja näitä väestöryhmiä edustavien järjestöjen saatavilla. Ilmanlaatuselostusten voidaan jakaa internetin, ilmanlaatu puhelimen, lehtien, radion, television tai näyttö- ja ilmoitustaulujen välityksellä. Ilmanlaatuolosuhteesta voi tiedottaa myös sosiaalisen median välityksellä. Suomen ilmanlaadun mittaus tietoja välitetään kootusti Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaatu-sivuston kautta (ks. luku 6.3)

Tiedot ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista tulee saattaa ajan tasalle vähintään päivittäin ja aina kun se on mahdollista, tunneittain. Ilmanlaatuselostusten tulee sisältää lyhyt selostus mitatuista pitoisuuksista suhteessa säädettyihin sitoviin ja tavoitteellisiin enimmäispitoisuuksiin sekä tarkoituksenmukaista tietoa ilman epäpuhtauksien vaikutuksista. Tiedotuksessa kannattaa hyödyntää myös ulkoilman laatua kansanomaisesti kuvaavaa ilmanlaatuindeksiä (ks. luku 6.2).

Tulee huomioida, että ajantasainen tiedottaminen perustuu yleensä varmentamattomiin tuloksiin. Ajantasaisessa väestölle tiedottamisessa on suositeltavaa merkitä tuntiarvo sille tasatunnille, jolloin tuntiarvoa edustava jakso päättyy. Talviaikana tiedottamisessa käytetään Suomen normaaliaikaa ja kesäaika kesäaika.

Yleisöä on suositeltavaa tiedottaa ilmanlaadun raja-arvon numeroarvon ylityksistä. Jos ilman epäpuhtauden tunti- tai vuorokausipitoisuuden raja-arvon numeroarvo ylittyy, on hyvä tiedottaa siitä viipymättä väestölle. Tiedoissa on oltava maininta mitattujen pitoisuuksien suhteesta raja-arvoihin sekä kyseisten epäpuhtauksien terveysvaikutuksista. Jos raja-arvotasojen ylityksiä tapahtuu toistuvasti päivittäin,

kuten esimerkiksi kevätpölykaudella, voi tiedottamisessa käyttää harkintaa ja tiedottaa silloin, kun ilmanlaadussa on tapahtunut tai on odotettavissa muutos huonompaan tai parempaan. Voidaan tiedottaa esimerkiksi katupölykauden alkamisesta ja loppumisesta ja tarvittaessa katupölykauden aikana, jos pitoisuudet kohoavat erityisen korkeiksi. Tiedottaminen tapahtuu ensisijaisesti verkkosivujen ja tiedotteiden avulla. Valtakunnallinen Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaatu-sivusto voi toimia ilmanlaatutietojen pääasiallisena julkaisemiskanavana.

Jos ilman epäpuhtauden tiedotuskynnys tai varoituskynnys ylittyy tai sen ennustetaan ylittyvän, yleisöä on tiedotettava ilman epäpuhtauksien aiheuttamasta vaarasta. Tiedotteessa tulee kertoa pitoisuuksien suhde tiedotus- ja varoituskynnyksiin sekä kyseisten epäpuhtauksien terveysvaikutuksista. Varoitus- ja tiedotuskynnysten ylittyessä väestölle annettavien tietojen tulee lisäksi sisältää liitteessä 14 mainitut tiedot. Tiedot annetaan yleisölle internetin ja tarvittaessa radion, television tai lehtien välityksellä. Alustavat tiedot tiedotus- ja varoituskynnysten ylityksistä, mitatuista pitoisuuksista ja ylitysten kestosta on toimitettava merkittäviksi ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosaan kuukauden kuluessa ylityksistä.

6.2 Ilmansuojelusuunnitelmat ja lyhyen aikavälin toimintasuunnitelmat ja niistä tiedottaminen

Jos ilman epäpuhtauksille säädetty raja-arvo ylittyy tai on vaarassa ylittyä, kunnan on laadittava keskipitkän tai pitkän aikavälin ilmansuojelusuunnitelma raja-arvon alittamiseksi ja raja-arvon ylityksen keston lyhentämiseksi. Poikkeuksena on hengitettävien hiukkasten raja-arvon ylitys, jos se johtuu katujen ja teiden talvikunnossapitoon liittyvästä hiekoituksesta tai suolauksesta. Ilmansuojelusuunnitelman tulee sisältää tiedot ilmanlaadun heikkenemisestä sekä liikenteeseen ja muihin päästöjä aiheuttaviin toimintoihin kohdistuvat tarvittavat toimet ilmanlaadun parantamiseksi sekä ilman epäpuhtauksille herkkien väestöryhmien suojelemiseksi (YSL 527/2014). Ilmanlaatuasetuksessa on määritetty tarkemmin ilmansuojelusuunnitelmiin sisällytettävät tiedot.

Jos rikkidioksidin tai typpidioksidin varoituskynnys ylittyy tai on vaarassa ylittyä, kunnan on laadittava lyhyen aikavälin toimintasuunnitelma ylityksen aiheuttaman vaaran vähentämiseksi ja ylityksen keston lyhentämiseksi. Otsonin varoituskynnyksen ylittyessä tai ollessa vaarassa ylittyä kunnan tulee laatia lyhyen aikavälin toimintasuunnitelma ainoastaan, jos siten voidaan vähentää ylityksen vaaraa, kestoja tai vakavuutta. Lyhyen aikavälin toimintasuunnitelman tulee sisältää vastaavat tiedot ja toimet kuin ilmansuojelusuunnitelma, joilla ilmanlaatuun voidaan vaikuttaa mahdollisimman lyhyessä ajassa (YSL 527/2014).

6.3 Ilmanlaatuindeksi

Ilmanlaatuindeksiä käytetään päivittäisessä ilmanlaatatiedotuksessa. Sen avulla ilmanlaatua kullakin mittausasemalla voidaan kuvata havainnollisella väriasteikolla ja laatusanoilla hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono ja erittäin huono (taulukko 6.1). Ilmanlaatuindeksi perustuu ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tuntiarvoihin. Suomen oloihin sovellettu ilmanlaatuindeksi on Helsingin Seudun ympäristöpalveluiden (HSY) sekä Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) kehittämä.

Ilmanlaatuindeksi on tunneittain mittausasemalle laskettava vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna terveysvaikutuksiin ja ilmanlaadun tavoitteisiin. Ilmanlaadun ollessa huono terveysvaikutukset ovat mahdollisia herkillä ihmisillä. Ilmanlaadun ollessa hyvä tai tyydyttävä, terveysvaikutukset ovat hyvin epätodennäköisiä.

Ilmanlaatuindeksi on mahdollista laskea typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, otsonin, rikkidioksidin, hiilimonoksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksille (taulukko 6.2). Ilmanlaatuindeksin määrittämiseksi kullekin mitattavalle yhdisteelle lasketaan ensin pitoisuuksien tuntikeskiarvoista ali-indeksi. Ali-indekseistä korkeimman arvo määrää ilmanlaatuindeksin arvon. Eli käytännössä ilmanlaatuindeksi lasketaan tuntikeskiarvoista painottamalla korkeimpien, yksittäisten epäpuhtauksien arvoja suhteessa niiden aiheuttamiin terveysvaikutuksiin ja asetettuihin raja-arvoihin. Eri mittausasemilla mitataan usein eri komponentteja, joten eri asemien indeksit eivät välttämättä ole täysin vertailukelpoisia keskenään.

Taulukko 6.1 Ilmanlaatuindeksi ja sen yhteys terveys- ja luontovaikutuksiin.

Ilmanlaatu	Indeksi	Terveysvaikutukset	Luontovaikutukset
Hyvä	< 50	Ei todettuja	Lieviä luontovaikutuksia pitkällä aikavälillä
Tyydyttävä	51–75	Hyvin epätodennäköisiä	Selviä kasvillisuusvaikutuksia pitkällä aikavälillä
Välttävä	76–100	Epätodennäköisiä	Selviä kasvillisuusvaikutuksia pitkällä aikavälillä
Huono	101–150	Mahdollisia herkillä yksilöillä	Selviä kasvillisuusvaikutuksia pitkällä aikavälillä
Erittäin huono	> 150	Mahdollisia herkillä väestöryhmillä	Selviä kasvillisuusvaikutuksia pitkällä aikavälillä

Taulukko 6.2 Ilmanlaatuindeksin määrittäminen komponenteittain.

Indeksi-luokitus	Kunkin yhdisteen tuntipitoisuutta vastaava indeksiarvo (ns. ali-indeksi) Pitoisuus, mikrogrammaa kuutiometrissä ilmaa, µg/m³						
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	CO	TRS
Hyvä	alle 20	alle 40	alle 20	alle 10	alle 60	alle 4 000	alle 5
Tyydyttävä	20–80	40–70	20–50	10–25	60–100	4 000–8 000	5–10
Välttävä	80–250	70–150	50–100	25–50	100–140	8 000–2 0000	10–20
Huono	250–350	150–200	100–200	50–75	140–180	20 000–30 000	20–50
Erittäin huono	Yli 350	Yli 200	Yli 200	Yli 75	Yli 180	Yli 30 000	Yli 50

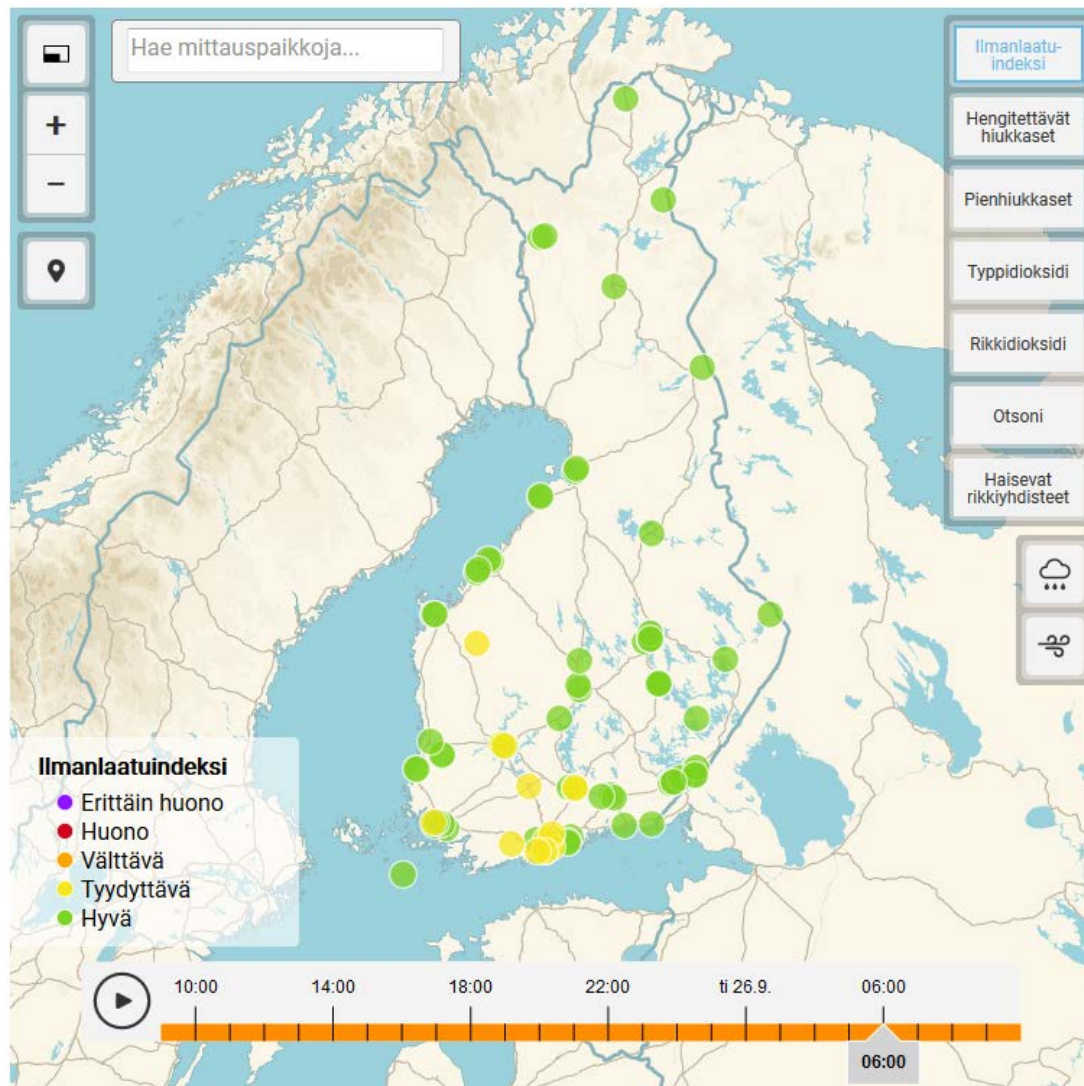
6.4 Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaatu-sivusto

Ilmanlaatuportaali uudistettiin vuoden 2017 aikana. Uudistuksen myötä Ilmanlaatuportaalien sisältö siirrettiin Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaatu-sivustolle <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu> (kuva 6.1).

Ilmanlaatatiedon Ilmanlaatu-sivustolle toimittavat ilmanlaadun mittausverkot: kuntamittaajat, HSY, teollisuuslaitoksia edustavat mittaajat ja Ilmatieteen laitos. Mittausverkot hoitavat alueensa ilmanlaadua koskevan tiedottamisen esimerkiksi omien verkkosivujensa kautta. Ilmatieteen laitos tiedottaa keskitetysti kansallisen tason ilmanlaatuepisodeista.

Ilmanlaatu-sivustolla esitetään yleistä tietoa ilman epäpuhtauksista ja niiden terveysvaikutuksista, ilmanlaatatavoitteet sekä koko maata koskevat vuosiyhteenvedot ilmanlaadusta. Sivustolta löytyy linkkejä mm. SILAM-leviämismalliin perustuvaan metsäpalosavujen leviämisenusteeeseen ja siitepölyennusteeeseen.

Ilmanlaatu Suomessa



Kuva 6.1 Ilmatieteen laitoksen julkisten verkkosivujen Ilmanlaatu-sivusto (<https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>).

Ilmanlaatumittausten pitoisuusdata siirretään automaattisella tiedonsiirrolla tunneittain mittajaan mittausohjelman tietokannasta Ilmatieteen laitoksen tietokantaan. Ilmanlaadun mittausasemien metatietoja hallitaan ja päivitetään Mittaajan käyttöliittymän AQUESTI:n avulla (kuva 6.2). AQUESTI:n käyttöön tarvitaan käyttäjätunnus ja salasana, jotka tulee pyytää Ilmanlaatu-sivuston ylläpidolta osoitteesta tuki.ilpo@fmi.fi.

Uuden ilmanlaadun seurannan mittausverkon tai -aseman perustamisesta on ilmoitettava Ilmatieteen laitokselle, mikäli tiedot halutaan mukaan ilmanlaadun tietotuotantoon ja raportointeihin. Ilmoituksen voi tehdä sähköpostilla osoitteeseen tuki.ilpo@fmi.fi

Asemat
Mittaukset
Menetelmät
Henkilöt ja organisaatiot
Ylläpito
FMI
Kirjaudu ulos

Asemat

Toiminnassa olevat asemat

Kunta	Asema	Alueen tyyppi	Toiminta alkoi	Toimii
Kuusamo	Oulanka	maaseutu	21.10.1989	
Lieksa	Lieksa Hietajärvi	maaseutu	01.11.1987	
Muonio	Sammaltunturi	maaseutu	05.09.1991	
Parainen	Utö	maaseutu	16.01.1980	
Savonlinna	Punkaharju Laukansaari 2	maaseutu	01.06.2001	
Sodankylä	Sodankylä	maaseutu	03.02.1995	

Tee uusi asema
Lähetä hyväksyttäväksi
Peruuta

Aseman tiedot

Nimi: Sammaltunturi
Tunniste: 356

Toiminta alkoi: 05.09.1991
Toiminta päättyi:

Kunta: Muonio
Sijainti (WGS84): Pohjoinen: 67.96715

Korkeus merenpinnasta (m): 566
Itäinen: 24.11233

Alueen tyyppi: maaseutu

Ilmavirtausolosuhteet: Valitse...

Liikennetiedot

Kadun nimi:

Aseman etäisyys risteyksestä (m):
Etäisyys ajokaistan reunasta (m):

KVL (lkm/vrk):
Raskaan liikenteen osuus (%):

Keskimääräinen ajonopeus (km/h):

Rakennusten julkisivujen keskimääräinen korkeus (m):
Tien leveys (m):

Liikennemäärien arviointivuosi:
Liikennemäärien arviointitapa: Valitse...

Kuvaus:

Aseman mittaukset

Mittaus	Komponentti	Alkoi	Loppui
1346	SO2	05.09.1991	
1432	NO2	05.09.1991	
1433	NO	05.09.1991	
1826	NOx	05.09.1991	
1331	O3	05.09.1991	
2438	PM10	07.08.2004	
4500	ethane	01.01.1997	

Kuva 6.2 Mittaajan käyttöliittymä (AQUESTI).

6.5 Avoin data

Ilmatieteen laitoksen sää-, ilmasto- ja meritietoaaineistoja on saatavilla maksutta julkiseen käyttöön avoimessa rajapinnassa (<https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>). Avoin data -verkkopalvelun kautta voi hakea ja ladata tietoaaineistoja koneluettavassa digitaalisessa muodossa. Verkkopalvelun sisältömäärittelyt on annettu INSPIRE-direktiivissä (2007/2/EY).

INSPIRE-direktiivi koskee myös ilmanlaatuaineistoja. Ilmatieteen laitos ja kuntamittaajat ovat sopineet, että Ilmatieteen laitos hoitaa myös kuntien ilmanlaatumittausten toimittamisen avoin data -jakeluun. Näin ilmanlaatua koskevat INSPIRE-velvoitteet saadaan hoidettua keskitetysti ja kustannustehokkaasti kansallisen ilmanlaadun tietojärjestelmän kautta. Tällä hetkellä avoimeen rajapintaan on siirretty Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaatu-sivustolle tuleva reaaliaikainen tuntidata. Puuttuvia tietoaaineistoja (metatiedot, raskasmetallit, orgaaniset yhdisteet) siirretään avoimeen rajapintaan suunnitelman mukaan vuonna 2018.

VIITTEET

Aces report 4, 2012. An Equivalence Study of PM10 Instruments at a Road Traffic Site in Stockholm Spring 2012. Stockholm University, Department of Environmental Science and Analytical Chemistry, Atmospheric Science Unit.

http://www.aces.su.se/reflab/wp-content/uploads/2016/11/ACES_Report_4.pdf.

AirBase, 2016. The European air quality database. European Environment Agency's (EEA). <http://acm.eionet.europa.eu/databases/airbase/index.html>

AQUILA, 2016. Air quality reference laboratories. European Commission's Joint Research Centre. <https://ec.europa.eu/jrc/en/aquila/>

Assessment of UK AURN particulate matter monitoring equipment against the January 2010 Guide to demonstration of Equivalence, Bureau Veritas Report AGG04003328/BV/AQ/DH/2657 (December 2010), available from: https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat14/1101140842_Assessment_of_UK_AURN_PM_Equipment_against_2010_GDE.pdf

EUROLAB, 2006. Technical Report 2/2006 Guidance for the management of computers and software in laboratories with reference to ISO/IEC 17025/2005.

European Commission, 2013. Guidance on the Commission Implementing Decision laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air. Version of 15 July 2013.

FINAS, 2014. Tietotekniikan arviointi akkreditointimenettelyssä. Opas 1/2014. FINAS – akkreditointipalvelu, Espoo.

GDE, 2010. Guide for Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods.

Haerri, H-P., Niederhauser, B., Waldén, J., Macé, T., Sutour, C., Couette, J., 2014. Guide on permeation method for the dynamic generation of NO₂ and SO₂ standard gas mixtures at limit values. EMRP/MacPoll project.

http://www.macpoll.eu/sites/default/files/media/PDF/MACPoll%20D114_Permutation%20method_Final%20version.pdf

Haerri, H.-P., Macé, T., Waldén, J., Pascale, C., Niederhauser, B., Wirtz, K., Stovcik, V., Sutour, C., Couette, J., and Waldén, T., 2017. Dilution and permeation standards for the generation of NO, NO₂ and SO₂ calibration gas mixtures. Meas. Sci. Technol. 28 no 3.

JCGM 100:2008 (Joint Committee for Guides in Metrology). Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. 134 p. www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf

Kaminski, H., Kuhlbusch, T., 2010. Überprüfung der Trenngrade zweier PM₁₀ Vorabscheider für 2,3 m³/h mittels Messung mit polydispersem Aerosol. IUTA Bericht LP 59/2010.

Komppula, B., Anttila, P., Vestenius, M., Salmi, T. ja Lovén, K., 2014. Ilmanlaadun seurantatarpeen arviointi. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia.

Novikov, S., Lebedeva, N., Satrapinski A., Waldén, J., Davydov, V., Lebedev, A., 2016. Graphene based sensor for environmental monitoring of NO₂. Sensors and Actuators B 236 (2016) 1054 – 1060.

SFS-EN ISO/IEC 17025:2005. Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys. Yleiset vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 7.11.2005, 1 + 61 s.

SFS-OPAS 99:2010 Kansainvälinen metrologian sanasto (VIM). Perus- ja yleiskäsitteet sekä niihin liittyvät termit ja sitä täydentävä julkaisu SFS-OPAS 99/AC:2015

Spinelle, L., Gerboles, M., Aleixandre, M., Protocol of evaluation and calibration of low-cost gas sensors for the monitoring of air pollution, EUR 26112, Publications Office of the European Union, Luxembourg (Luxembourg), 2013.

Spinelle, L., Gerboles, M., Villani, M.,G., Aleixandre, M., Field calibration of a cluster of low-cost available sensors for air quality monitoring. Part A: Ozone and nitrogen dioxide. Sensors and Actuators B 215 (2015) 249–257.

TÜV 1.6/205/90 test report, 2000. Test Report on the proof of the equivalence of the Partisol-Plus Model 2025 Air Sampler for the collection of airborne particulate matter from Rupprecht & Patashnick Co. Inc. using the reference method according to the European Standard EN 12341. P. Mückler — TÜV — November 2000 — reference 1.6/205/90

Vna 79/2017. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 26.1.2017.

Vna 113/2017. Valtioneuvoston asetus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Helsingissä 16.2.2017.

Vnp 480/1996. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta. Annettu Helsingissä 19.6.1996.

Waldén, J., Talka, M., Pohjola, V., Häkkinen, T., Lusa, K., Sassi, M-K., and Laurila, S., 2004. Ulkoilman hiilimonoksidi-, rikkidioksidi- ja typpimonoksidi-mittausten kansallinen vertailumittaus ja kenttäauditointi 2002–2003. *Ilmanlaadun julkaisu* 35. Ilmatieteen laitos, Helsinki. 49 s.

Waldén, J., Bergius, J., Pohjola, V., Laurila, S., Kuronen, P. and Wernberg, A., 2008. Ulkoilman CO, SO₂-, NO-, H₂S- ja O₃-mittausten kansallinen vertailumittaus ja kenttäauditointi 2006. *Tutkimuksia* 2. Ilmatieteen laitos, Helsinki. 71 s.

Waldén, J., Hillamo, R., Aurela, M., Mäkelä, T., Laurila, S., 2010. Demonstration of the equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀ measurement methods in Helsinki 2007–2008. *Tutkimuksia* No. 3. Finnish Meteorological Institute, Helsinki. 103 p.

Waldén, J., Macé, T., Sutour, C., Couette, J., Haerri, H.-P., Niederhauser, B., 2014a. Guide on dynamic dilution methods for NO, NO₂ and SO₂ at limit values. EMRP/MacPoll project.

http://www.macpoll.eu/sites/default/files/media/PDF/MACPoll%20D113_Dynamic%20dilution%20method_Final%20version.pdf.

Waldén, J., 2014b. Mittausepävarmuuskoulutus 5.5.2014 Helsingissä Ilmatieteen laitoksella.

Waldén, J., Laurila, S., Lusa, K., Kuronen, P., Waldén, T. ja Anttila, T., 2015. Ulkoilman CO-, SO₂-, NO- ja O₃-mittausten kansallinen vertailumittaus ja kenttäauditointi 2011. Raportteja 2015:2. Ilmatieteen laitos, Ilmakehän koostumus, Ilmanlaatu. 63 s.

Waldén, J., Waldén, T., Laurila, S., Hakola, H., 2017. Demonstration of the equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀ measurement methods in Kuopio 2014–2015. Reports 2017:1. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 137 p.

YSA 713/2014. Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta. Annettu 4.9.2014.

YSL 527/2014. Ympäristönsuojelulaki. Annettu 27.6.2014.

2004/107/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Strasbourgissa 15.12.2004.

2007/2/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi Euroopan yhteisön paikkatietoinfrastruktuurin (INSPIRE) perustamisesta. Annettu Strasbourgissa 14.3.2007.

2008/50/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmanlaadusta ja sen parantamisesta. Annettu Strasbourgissa 21.5.2008.

2011/850/EU. Komission täytäntöönpanopäätös tietojenvaihtojärjestelmästä ja ilmanlaatua koskevien tietojen raportoinnista annettuja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivejä 2004/107/EY ja 2008/50/EY koskevien sääntöjen vahvistamisesta. Annettu Brysselissä 12.12.2011.

2015/1480/EU. Komission direktiivi ilmanlaadun arvioinnissa käytettäviä vertailumenetelmiä, tietojen validointia ja näytteenottopaikkojen sijaintia koskevien sääntöjen vahvistamista koskevien Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivien 2004/107/EY ja 2008/50/EY useiden liitteiden muuttamisesta. Annettu Brysselissä 28.8.2015.

LIITELUETTELO

- Liite 1 Ilmanlaadun mittausaseman kuvaus
- Liite 2 Standardiluettelo
- Liite 3 Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) mittaaminen
- Liite 4 Jatkuvatoimiset hiukkasmittalaitteet
- Liite 5 2014–2015 hiukkaslaitevertailun tulokset
- Liite 6 Laatustandardin SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 aihealueet
- Liite 7 Tarkistuslista: Onko mittauksia suorittavalla taholla toimiva laatujärjestelmä?
- Liite 8 Kalibrointipöytäkirja
- Liite 9 Mittauspöytäkirja
- Liite 10 Laadunvarmistustoimenpiteet
- Liite 11 Lineaarisuuden ja havaintorajan laskeminen
- Liite 12 Mittausepävarmuuden laskeminen
- Liite 13 Esimerkki vuosiraportin rungosta
- Liite 14 Tiedotus- tai varoituskynnyksen ylittyessä yleisölle annettavat tiedot

ILMANLAADUN MITTAUSASEMAN KUVAUS

Ilmanlaatutuloksia esitettäessä ja arvioitaessa tulee tietää mittausasema sijainti ja sen ympäristö, kuten päästölähteet, topografia, rakennukset ja muut ilmapvirtauksiin vaikuttavat tekijät. Mittausaseman ympäristö kuvataan jo mittausaseman paikkaa valittaessa ja tietoja tulee tarkentaa tarvittaessa mittausjakson aikana.

Mittausaseman yleistiedot

- Nimi (paikkaa kuvaava nimi, esimerkiksi kaupunginosa)
- Sijaintikunta
- Mittausaseman koodi
- Osoite
- Koordinaatit
- Korkeus merenpinnan yläpuolella (mittausaseman maanpinnan korkeus)
- Mittausten aloittamis- ja lopettamispäivä

Mittausaseman sijoittamiskriteerit

Perusteet seurannalle (esim. joku seuraavista):

- raja- ja tavoitearvojen valvonta
- väestön altistumisen ja viihtyisyyshaitan arviointi
- yhden tai useamman päästölähteen ilmanlaatuvaikutusten arviointi
- päästömuutosten tai -häiriöiden ilmanlaatuvaikutusten seuranta
- ilmanlaatutietojen tuottaminen kaupunkisuunnittelun tarpeisiin
- ilmanlaatutietojen tuottaminen kansainvälisiin seurantatutkimuksiin
- paikalliset erityispiirteet

Mittausaseman ympäristön kuvaus

- vilkasliikenteinen väylä, leveä/kapea katu, katukuilu, asuinalue
- avoin ympäristö, kerrostaloympäristö, pientaloalue
- etäisyydet merkittävimpiin päästölähteisiin
- aseman edustavuus (minkälaista ympäristöä ja pitoisuustasoja asema edustaa?)

Mittausasemalla mitattavat komponentit ja meteorologiset parametrit

Yhdiste tai komponentti, laite, mittausmenetelmä, mittauskorkeus (näytteenottopisteen korkeus maanpinnasta), mittauksen aloitus- ja lopetusajankohdat,

Kartta ja valokuvat

Mittausaseman kuvaukseen tulee liittää kartta, josta selviää mittausaseman sijainti ja etäisyys lähimpiin liikenneväyliin tai muihin päästölähteisiin nähden. Mittausasemasta tulee myös esittää valokuva ja dokumentoida mittausaseman ympäristö kaikkiin ilmansuuntiin.

Mittausaseman alueen tyyppi (asemakohtainen)

- kaupunki
- esikaupunki
- maaseutu
- tuntematon (esim. satamat)

Mittausaseman tyyppi suhteessa hallitseviin päästölähteisiin (mittauskohtainen)

- liikenne
- teollisuus
- tausta
- tuntematon (esim. satamat, tulisijojen käyttö pientaloalueilla)

Tärkeimmät päästölähteet, jotka vaikuttavat mittauspaikan pitoisuustasoon

Liikennepäästölähteet

- Liikennemäärä 50 m säteellä
- Etäisyys lähimmästä risteyksestä
- Kadun tai tien nimi
- Etäisyys ajokaistan reunasta
- Keskimääräinen vuorokausiliikenne
- Raskaan liikenteen osuus
- Keskimääräinen ajonopeus

Kiinteät päästölähteet

- Laitoksen tyyppi (voimalaitos, lämpökeskus, prosessiteollisuus, pienteollisuus, rakennusten erillislämmitys, kaivostoiminta, satama, lentokenttä)
- Etäisyys mittauspaikasta ja ilmansuunta
- Päästöjen laatu ja mahdollinen vaikutus ilmanlaatuun
- Päästökorkeus

STANDARDILUETTELO

ILMANLAADUN MITTAAMISEEN LIITTYVIÄ STANDARDEJA

CEN:in mittausmenetelmästandardeja

SFS-EN 14211:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence.

SFS-EN 14212:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence.

SFS-EN 14625:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of ozone by ultraviolet photometry.

SFS-EN 14626:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of carbon monoxide by nondispersive infrared spectroscopy.

SFS-EN 12341:2014 Air quality – Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter.

SFS-EN 16450:2017 Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM₁₀; PM_{2,5})

SFS-EN 15549:2008 Air quality – Standard method for the measurement of the concentration of benzo(a)pyrene in ambient air.

SFS-EN 14662-1:2005 Ambient air quality – Standard method for measurement of benzene concentrations. Part 1: Pumped sampling followed by thermal desorption and gas chromatography.

SFS-EN 14662-2:2005 Ambient air quality – Standard method for measurement of benzene concentrations. Part 2: Pumped sampling followed by solvent desorption and gas chromatography.

SFS-EN 14662-3:2015 Ambient air quality – Standard method for measurement of benzene concentrations. Part 3: Automated pumped sampling with in situ gas chromatography.

SFS-EN14902:2006 Ambient air quality – Standard method for the measurement of Pb, Cd, As and Ni in the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter.

SFS-EN 15841:2009 Ambient air quality – Standard method for determination of arsenic, cadmium, lead and nickel in atmospheric deposition.

SFS-EN 15853:2010 Ambient air quality – Standard method for determination of mercury deposition.

SFS-EN 15980:2011 Air quality – Determination of the deposition of benz[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenz[a,h]anthracene and indeno[1,2,3-cd]pyrene.

SFS-EN 13528-1:2002 Ambient air quality – Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours – Requirements and test methods – Part 1: General requirements

SFS-EN 13528-2:2002 Ambient air quality – Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours – Requirements and test methods – Part 2: Specific requirements and test methods

ISO:n mittausmenetelmästandardeja

ISO 4219:1979 Air quality - Determination of gaseous sulphur compounds in ambient air - Sampling equipment

ISO 4220:1983 Ambient air - Determination of a gaseous acid air pollution index - Titrimetric method with indicator or potentiometric end-point detection

ISO 4221:1980 Air quality - Determination of mass concentration of sulphur dioxide in ambient air - Thorin spectrophotometric method

ISO 4224:2000 Ambient air - Determination of carbon monoxide - Non-dispersive infrared spectrophotometric method

ISO 6767:1990 Ambient air - Determination of the mass concentration of sulfur dioxide - Tetrachloromercurate (TCM)/pararosaniline method

ISO 6768:1998 Ambient air - Determination of the mass concentration of nitrogen dioxide - Modified Griess-Saltzman method

ISO 7996:1985 Ambient air - Determination of mass concentration of nitrogen oxides - Chemiluminescence method

ISO 8186:1989 Ambient air - Determination of the mass concentration carbon monoxide - Gas chromatographic method.

ISO 9835:1993 Ambient air - Determination of a black smoke index

ISO 9855:1993 Ambient air - Determination of the particulate lead content of the aerosols collected on filters - Atomic absorption spectrometric method

ISO 10312:1995 Ambient air - Determination of asbestos fibres - Direct transfer transmission electron microscopy method

ISO 10313:1993 Ambient air - Determination of the mass concentration of ozone - Chemiluminescence method

ISO 10473:2000 Ambient air - Measurement of the mass particulate matter on a filter medium - Beta-ray absorption method

ISO 10498:2004 Ambient air - Determination of sulfur dioxide - Ultraviolet fluorescence method

ISO 12884:2000 Ambient air - Determination of total (gas- and particle-phase) polycyclic aromatic hydrocarbons – Collection on sorbent-backed filters with gas chromatographic/mass spectrometric analysis

ISO 13794:1999 Ambient air - Determination of asbestos fibres - Indirect-transfer transmission electron microscopy method

ISO 13964:1998 Air quality – Determination of ozone in ambient air – Ultraviolet photometric method

ISO 14965:2000 Ambient air - Determination of total non-methane organic compounds - Grogogenic preconcentration and direct flame ionization detection method

ISO 14966:2002 Ambient air - Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles - Scanning electron microscopy method

ISO 16017-1: 2000 Indoor, ambient and workplace air – Sampling and analysis of volatile Organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography – Part 1: Pumped sampling

ISO 16017-2:2003 Indoor, ambient and workplace air- Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography- Part 2: Diffusive sampling

Muita ISO:n standardeja

ISO 4225:1994 Air quality - General aspects - Vocabulary

ISO 4226:2007 Air quality - General aspects - Units of measurements

ISO 7168-1:1999 Air quality - Exchange of data - Part 1: General data format

ISO 7168-2:1999 Air quality - Exchange of data - Part 2: Condensed data format

ISO 7708:1995 Air quality - Particle size fraction definitions for health-related sampling

ISO 8756:1994 Air quality - Handling of temperature, pressure and humidity data

ISO 9169:2006 Air quality - Determination of performance characteristics of an automatic measuring system

ISO 11222:2002 Air quality – Determination of the uncertainty of the time average of air quality measurements

ISO 13752:1998 Air quality – Assessment of uncertainty of a measurement method under field conditions using a second method as reference

ISO 14956:2002 Air quality – Evaluation of the suitability of a measurement procedure by comparison with a required measurement uncertainty

SFS:n mittausmenetelmästandardeja

SFS 3863:1977 Leijuvan pölyn määrittäminen ilmasta. Tehokeräysmenetelmä

KAASUANALYSAATTOREIDEN KALIBROINTIIN LIITTYVIÄ STANDARDEJA

CEN:n ja ISO:n standardeja kalibrointikaasujen valmistuksesta

SFS-EN ISO 6142-1:2015 Gas analysis - Preparation of calibration gas mixtures – Part 1: – Gravimetric method for Class I mixtures

SFS-EN ISO 6143:2007 Gas analysis – Comparison methods for determining and checking the composition of calibration gas mixtures

SFS-EN ISO 6144:2007 Gas analysis - Preparation of calibration gas mixtures - Static volumetric method

SFS-EN ISO 6145-1:2009 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 1: Methods of calibration

ISO 6145-2:2014 Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 2: Piston pumps

SFS-EN ISO 6145-4:2009 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 4; Continuous syringe injection method

SFS-EN ISO 6145-5:2011 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 5: Capillary calibration devices

SFS-EN ISO 6145-6:2009 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 6: Critical orifices

SFS-EN ISO 6145-7:2011 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 7: Thermal mass flow controllers

SFS-EN ISO 6145-9:2010 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 9: Saturation method

SFS-EN ISO 6145-10:2009 Gas analysis – Preparation of calibration mixtures using dynamic volumetric methods– Part10: Permeation method

LAADUNHALLINTAAN JA -VARMISTUKSEEN LIITTYVIÄ STANDARDEJA

SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys. Yleiset vaatimukset (*standardista julkaistaan päivitetty versio vuonna 2017*)

SFS-EN ISO 9001:2015 Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset

SFS-EN ISO 9000:2015 Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto

SFS-OPAS 99:2010 Kansainvälinen metrologian sanasto (VIM). Perus- ja yleiskäsitteet sekä niihin liittyvät termit ja sitä täydentävä julkaisu SFS-OPAS 99/AC:2015

SFS-EN ISO 19011:2011 Johtamisjärjestelmän auditointiohjeet

SFS-EN ISO 10012:2003 Mittausten hallintajärjestelmät. Vaatimukset mittaustilanteille ja mittauslaitteistoille

ISO 5725-1:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 1 General principles and definitions. Lisäksi standardin korjaus ISO 5725-1:1994/Cor 1:1998.

ISO 5725-2:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method. Lisäksi standardin korjaus ISO 5725-2:1994/Cor 1:2002.

ISO 5725-3:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method. Lisäksi standardin korjaus ISO 5725-3:1994/Cor 1:2001

ISO 5725-4:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 4: Basic methods for the determination of the trueness of a standard measurement method

ISO 5725-5:1998 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 5: Alternative methods for the determination of the precision of a standard measurement method. Lisäksi standardin korjaus ISO 5725-5:1998/Cor 1:2005.

ISO 5725-6:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 6: Use in practice of accuracy values. Lisäksi standardin korjaus ISO 5725-6:1994/Cor 1:2001

HAISEVIEN RIKKIYHDISTEIDEN (TRS) MITTAAMINEN

Periaate

Haisevilla rikkiyhdisteillä eli TRS-yhdisteillä tarkoitetaan pelkistyneitä rikkiyhdisteitä kuten rikkivety, metyylimerkaptani, dimetyylisulfidi ja dimetyylidisulfidi. TRS-mittauksessa määritetään näiden yhdisteiden yhteispitoisuus. Määrittämistä varten yhdisteet hapetetaan korkeassa lämpötilassa rikkidioksidiksi ja muodostunut rikkidioksidi mitataan UV-fluoresenssiin perustuvalla rikkidioksidianalysaattorilla.

Näytteenotto

Näytteenotossa tulee käyttää riittävän lyhyttä (alle 6 metriä) näytelinjaa, jotta näytteessä ei pääsisi tapahtumaan muuttumista. Suositeltavaa on käyttää läpivirtaussondia. Sondin ja näytelinjojen materiaalien tulee olla inerttiä materiaalia (näytteenotin ruostumatonta terästä ja linjat teflonia). Näytelinjassa tulee olla hiukkasten suodattamiseksi tefloninen suodatin (5 µm), joka tulee vaihtaa vähintään joka kolmas kuukausi.

Konvertterin toiminnan tarkistus ja laitteen kalibrointi (tapa 1)

Näytekaasu johdetaan konvertteriin, joka käsittää SO₂-erottimen (scrubberin) ja uunin. SO₂-erottimen sisältämä materiaali adsorboi näytekaasusta rikkidioksidimolekyylit. SO₂-erottimesta näytekaasu johdetaan uuniin, jonka lämpötila on n. 820–870 °C (uunin optimaalinen lämpötila on laitemerkkikohtainen).

SO₂-erottimen tehokkuus, joka riippuu käytetystä adsorptiomateriaalista ja käyttöiästä, tulee määrittää säännöllisesti vähintään joka kolmas kuukausi. Tämä tapahtuu syöttämällä laitteeseen konvertterin kautta tunnetunpitoista SO₂-kaasua (esim. 100 ppb) vähintään 10 min ajan. Mikäli erotinmateriaali päästää lävitseen 3 % tai enemmän rikkidioksidia, erottimen materiaali tulee vaihtaa.

Analysaattori kalibroidaan vähintään joka kolmas kuukausi rikkidioksidikaasulla (SO₂), jolloin SO₂-erotin ohitetaan. Lineaarisuus tarkistetaan kerran vuodessa. Jos analysaattori on ollut poissa käytöstä, sen tulee olla päällä ennen kalibrointia vähintään yksi vuorokausi.

Uuni konvertoi TRS-yhdisteet rikkidioksidiksi konvertoimisasteen ollessa yleensä 90–95 % (osa hävikistä tulee SO₂-erottimesta). Konvertoimisaste tulee tarkistaa säännöllisesti johtamalla laitteeseen konvertterin kautta tunnetunpitoista rikkivetykaasua (esim. 100 ppb) vähintään 10 min ajan. Tuloksia tulee korjata konvertointiasteen sekä laitteen korjauskertoimen verran.

Konvertterin toiminnan tarkistus ja laitteen kalibrointi (tapa 2)

Näytekaasu johdetaan konvertteriin, joka käsittää SO₂-erottimen (scrubberin) ja uunin. SO₂-erottimen sisältämä materiaali adsorboi näytekaasusta rikkidioksidimolekyylit. SO₂-erottimesta näytekaasu johdetaan uuniin, jonka lämpötila on n. 820–870 °C (uunin optimaalinen lämpötila on laitemerkkikohtainen).

SO₂-erottimen tehokkuus, joka riippuu käytetystä adsorptiomateriaalista ja käyttöiästä, tulee määrittää säännöllisesti vähintään kolmen kuukauden välein. Tämä tapahtuu syöttämällä laitteeseen konvertterin kautta tunnetunpitoista SO₂-kaasua (esim. 100 ppb) vähintään 10 min ajan. Mikäli erotinmateriaali päästää lävitseen 3 % tai enemmän rikkidioksidia, erottimen materiaali tulee vaihtaa.

Analysaattori kalibroidaan vähintään joka kolmas kuukausi rikkivetykaasulla (H₂S). Jos analysaattori on ollut poissa käytöstä, sen tulee olla päällä ennen kalibrointia vähintään yksi vuorokausi. Tulokset korjataan rikkivetykalibroinnin korjausyhtälöllä.

Uuni konvertoi TRS-yhdisteet rikkidioksidiksi konvertoimisasteen ollessa yleensä 90–95 % (osa hävikistä tulee SO₂-erottimesta). Konvertoimisaste ja lineaarisuus tulee tarkistaa vähintään kerran vuodessa tekemällä laitteelle SO₂ monipistekalibrointi.

JATKUVATOIMISET HIUKKASMITTALAITTEET

Taulukossa on lueteltu jatkuvatoimiset hiukkanalyysaattorit, joille on tehty ekvivalenttisuustestit (GDE, 2010) saksalaisen testauslaboratorion TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH toimesta (www.qal1.de). Taulukkoon on merkitty ne raportit, joille on tehty yksityiskohtainen tarkistus (MCERT-ohjeen tai AQUILA-ohjeen mukaan) siitä, kuinka hyvin tehdyt testit noudattavat GDE:n ohjetta. Käyttäjää pyydetään tarkistamaan viimeisimmät tiedot osoitteesta: www.qal1.de.

Laitevalmistaja	PM-analyysaattori ja raportti	Hiukkaskoko-luokka	GDE tarkistus
Comde-Derenda GmbH	Air Pollution Monitor 2 (APM-2)	PM 10, PM 2.5	
DURAG GmbH	F 701-20	PM 2.5	
Ecotech Pty Ltd	Spirant BAM 1000 PM10	PM 10	
Ecotech Pty Ltd	Spirant BAM 1100 PM25	PM 2.5	
FAI Instruments s.r.l.	SWAM 5a Dual Channel Monitor für PM10 und PM2,5	PM 10, PM 2.5	MCERT
HORIBA Europe GmbH	APDA-371 mit PM2,5-Vorabscheider	PM 2.5	
HORIBA Europe GmbH	APDA-371 mit PM10-Vorabscheider	PM 10	
HORIBA Europe GmbH	APDA-372 PM 2.5 / PM10	PM 10	
Met One Instruments Inc.	BAM 1020 mit PM2,5-Vorabscheider	PM 2.5	MCERT
Met One Instruments Inc.	BAM 1020 mit PM10-Vorabscheider	PM 10	MCERT
Opsis AB	SM 200 PM10	PM 10	
Opsis AB	SM 200 PM2,5	PM 2.5	
PALAS GmbH	Fidas 200 S	PM 10, PM 2.5	
Thermo Fisher Scientific	Model 5014i PM 2.5	PM 2.5	

Thermo Fisher Scientific	<u>Model 5014i PM 10</u>	PM 10	
Thermo Fisher Scientific	<u>Model 5030i PM 2.5</u>	PM 2.5	AQUILA
Thermo Fisher Scientific	<u>Model 5030i PM 10</u>	PM 10	AQUILA
Thermo Fisher Scientific	<u>TEOM 1405-F Ambient Particulate Monitor mit PM10- Vorabscheider</u>	PM 10	MCERT
Thermo Fisher Scientific	<u>TEOM 1405-F Ambient Particulate Monitor mit PM2.5- Vorabscheider</u>	PM 2.5	MCERT
Thermo Fisher Scientific	<u>TEOM 1405-DF Ambient Particulate Monitor mit PM10 und PM2.5- Vorabscheider</u>	PM 10, PM 2.5	MCERT

HIUKKASLAITEVERTAILUN 2014–2015 TULOKSET

Kuopion ekvivalenttisuusvertailujen perusteella saadut kalibrointikertoimet hyväksyttävästi läpimenneille hiukkasanalysaattoreille. Tarkemmin tulosten käsittely ja analysointi on esitetty viitteessä *Waldén et al. 2017*.

PM₁₀-hiukkasmittalaitteissa käytettävät kalibrointikertoimet. SHARP 5030 kohdalla on esitetty yhdistetty optinen signaali ja beta-signaali (C-dust) sekä pelkästään beta-signaalin perusteella lasketut tulokset. Epävarmuus on ilmoitettu luotettavuustasolla 95 % (*JCGM 100:2008*). Taulukossa on esitetty korjausyhtälöt kahdelle eri vuorokausipitoisuusalueelle (< 325 µg/m³ ja < 100 µg/m³), sekä pitoisuusalueelle < 100 µg/m³ nollan kautta pakotettu korjauskerroin. Punaisella fontilla kirjatut tulokset eivät täytä laatuvaatimuksia.

PM10 PM-analysaattori	< 325 µg/m ³		< 100 µg/m ³		< 100 µg/m ³	
	Kalibrointiyhtälö PM ₁₀	Suhteellinen laajennettu mittaasepävarmuus U(%)	Kalibrointiyhtälö PM10	Suhteellinen laajennettu mittaasepävarmuus U(%)	Kalibrointiyhtälö pakotettu 0-kautta PM10	Suhteellinen laajennettu mittaasepävarmuus U(%)
BAM 1020	0,942y + 0,437	12,6%	0,858y + 1,919	10,3%	0,913y	11,7%
GRIMM 180	0,855y + 2,139	17,0 %	0,871y + 1,927	17,0 %	0,922y	17,9 %
SHARP 5030 C-dust	1,404y -2,750	17,2%	1,486y -3,904	16,5%	1,319y	16,3%
SHARP 5030 (beta)	1,415y -2,233	12,8%	1,489y -3,301	12,5%	1,351y	12,5%
FH 62 IR	1,300y -0,904	16,5%	1,372y -1,850	17,1%	1,297y	12,6%
TEOM 1405	0,868y -2,068	14,4%	0,804y -0,623	13,6%	0,788y	13,0%
MP101M	0,811y + 2,311	11,0%	0,887y + 0,826	9,4%	0,910y	9,6%
OSIRIS	1,401y -0,153	15,7%	1,338y + 0,57	15,3%	1,363y	15,7%
Dusttrak	7,478y -76,819	402,3%	5,761y -55,073	1132,0%	2,07y	94,0%

PM_{2.5}-hiukkasmittalaitteissa käytettävät kalibrointikertoimet. SHARP 5030 kohdalla on esitetty yhdistetty optinen signaali ja beta-signaali (C-dust) sekä pelkästään beta-signaalin perusteella lasketut tulokset. Epävarmuus on ilmoitettu luotettavuustasolla 95 % (*JCGM 100:2008*). Punaisella fontilla kirjatut tulokset eivät täytä laatuvaatimuksia.

PM2.5 PM-analysaattori	< 25 µg/m ³		< 25 µg/m ³	
	Kalibrointiyhtälö PM _{2.5}	Suhteellinen laajennettu mittaasepävarmuus U(%)	Kalibrointiyhtälö pakotettu 0-kautta PM2.5	Suhteellinen laajennettu mittaasepävarmuus U(%)
BAM 1020	1,100y + 0,733	7,4%	1,215y	19,9%
GRIMM 180 (*)	0,747y + 0,532	12,6 %	0,780y	12,3 %
SHARP 5030 C-dust	0,854y + 1,187	7,3%	1,009y	27,7%
SHARP 5030 (beta)	0,971y -0,003	0,2%	0,971y	0,2%
FH 62 IR	0,850y + 1,709	17,3%	1,097y	51,8%
TEOM 1405	1,009y -1,681	8,8%	0,821y	31,4%
MP101M	0,812y -0,306	8,9%	0,780y	31,4%
OSIRIS (*)	3,324y -1,073	124,2%	2,020y	76,1%
Dusttrak (*)	0,602y -1,002	37,9%	0,550y	143,9%

*Mittausalue < 75 µg/m³

LAATUSTANDARDIN SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 AIHEALUEET

Alla on kuvattu laatustandardin *SFS-EN ISO/IEC 17025:2005* aihepiirit jaoteltuna yleisiin laatuvaatimuksiin ja tekniseen toimintaan liittyviin vaatimuksiin ja sovellettuna ilmanlaadun mittausverkkojen tarpeisiin.

Yleiset laatuvaatimukset

- Organisaatio ja laatujärjestelmä
- Asiakirjojen hyväksyntä, julkaiseminen ja muutokset
- Tarjouspyynnöt, tarjoukset ja sopimukset
- Palvelujen ja tarvikkeiden hankinta sekä alihankinta
- Asiakaspalvelu ja palautteet
- Laatujärjestelmästä poikkeavan työn valvonta
- Parantaminen, korjaavat ja ehkäisevät toimenpiteet
- Tallenteet
- Sisäiset auditoinnit ja laatukatselmukset

Tekniset laatuvaatimukset

- Henkilöstö
- Mittaustilat ja ympäristöolojen seuranta
- Mittausmenetelmät, menetelmien validointi ja mittausepävarmuus
- Laitteistot
- Mittausten jäljitettävyys
- Näytteenotto ja näytteiden käsittely
- Mittaustulosten laadun varmistaminen
- Tulosten raportointi

TARKISTUSLISTA: ONKO MITTAUKSIA SUORITTAVALLA TAHOLLA TOIMIVA LAATUJÄRJESTELMÄ?

Seuraavien osa-alueiden kattava ja ajantasainen osoitus varmistaa, että mittauksia suorittavalla taholla on toimiva laatujärjestelmä. Aihealueet on kuvattu tarkemmin tämän ohjeen kappaleissa 2–6.

1. Onko voimassa oleva laatukäsikirja, jonka ylläpidosta huolehditaan? (4.2.1)
2. Onko toiminta dokumentoitu kattavasti (4.2.2), mm.
 - a. mittausmenetelmät
 - b. menettelyt ja toimintatavat
 - c. arkistointi
3. Järjestetäänkö auditointeja ja laatukselmuksia säännöllisesti? (4.2.3)
4. Onko henkilöstö perehdytetty dokumentoidusti tehtäviinsä ja onko henkilöstön pätevyudet kirjattu? Onko menettelyt uusien henkilöiden perehdytykseen? (4.2.4)
5. Kirjataan laatuja järjestelmästä poikkeamiset systemaattisesti ylös? (4.2.5)
6. Onko mittauspaikan valinta ohjeistettu ja noudatetaanko tämän mittausohjeen kriteereitä? (2.2.3 ja 2.2.4)
7. Onko seurantamenetelmille asetettu laatu tavoitteet? (4.4)
8. Onko käytetyt menetelmät voimassa olevien ilmanlaatu standardien mukaisia? (3.1)
9. Onko käytetyt menetelmät validoitu tai testattu käyttöön soveltuvaksi? (4.3.3)
10. Onko menetelmät kalibroitu jäljitettävästi? (4.3 ja 4.5)
11. Osallistutaanko kansallisiin vertailumittauksiin? (4.3.11 ja 4.7)
12. Onko valitut laitteistot tarkoituksensa sopivia ja onko niiden ylläpito ja huolto kirjattu? (4.3 ja 4.5)
13. Onko mittaus tietojen keruu vaatimusten ja ohjeiden mukaista? (4.3.5)
14. Korjataan ja validoidaanko mittaus tulokset suunnitelmaan asetettujen ja vaatimusten mukaisesti? (4.3.8, 5.1, 5.2)
15. Tallennetaanko mittaus tulokset omiin tietokantoihin ja ympäristönsuojelun tietojärjestelmään annettujen ohjeiden mukaisesti? (4.3.9, 5.1, 5.3.2)
16. Raportoidaanko tulokset ja tiedotetaanko niistä tarvittaessa? (4.3.10, 5.3, 6)

KALIBROINTIPÖYTÄKIRJA

Esimerkkinä kaasuanalysaattorin kalibrointi

Kalibrointipöytäkirjaan merkitään seuraavat tiedot:

- Kalibroitava laite, sen merkki ja tyyppi sekä sarjanumero
- Kalibrointiajankohta, -paikka ja kalibroinnin suorittaja. Kalibroinnin aloitus- ja lopetusaika merkitään mahdollisimman tarkasti
- Kalibraattori, sen merkki, tyyppi ja sarjanumero
- Kalibrointilähde, esim. kaasupullo, permeaatioputki, kaasugeneraattori
- Kalibrointikaasu, sen alkuperä (kaasun valmistaja ja pullonumero, kaasugeneraattori) ja kaasupitoisuus
- Mittalaitteen pitoisuusalue kalibroinnissa
- Maininta siitä, onko kyseessä tarkistuskalibrointi vai tämän jälkeen säädetyn mittalaitteen uusintakalibrointi
- Kalibrointitulokset: syötetyt pitoisuudet (jäljitetyt pitoisuusarvot) ja mittalaitteen näyttämät pitoisuudet (asteikkonäyttämä/mitatut jännitteet)
- Tuloksista määritetty kalibrointisuora ja kalibrointikertoimet (voidaan tehdä tilanteesta riippuen myöhemmin)
- Mittausaseman sisälämpötila

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittausten aikana pidetään pöytäkirjaa, jota säilytetään mittausasemalla mittalaitteiden yhteydessä. Mittauspöytäkirjaan merkitään seuraavia mittauksiin ja laitteisiin liittyviä asioita:

- Mittalaitteiden huoltojen ajankohdat ja tekijät. Ajankohdat, jolloin mittalaitteet kytketään pois mittauksesta ja taas takaisin mittaukseen, ilmoitetaan mahdollisimman tarkasti.
- Mittalaitteissa havaitut häiriöt ja viat
- Suoritetut huollot ja korjaukset
- Havaitut poikkeamat menetelmä- ja laitekuvauksen tiedoista ja niiden perusteella tehdyt laitteen säätö- tai korjaustoimet.
- Tiedot suoritetuista kalibroinneista. Kalibroinnin aloitus- ja lopetusaika ilmoitetaan mahdollisimman tarkasti. Kalibroitulokset merkitään erilliseen kalibroitipöytäkirjaan.
- Tiedot näytteenkeruusta ja keruun aloitus- ja lopetusajat. Havainnot näytteiden poikkeuksellisesta ulkonäöstä tai vahingoittumisesta.
- Havainnot poikkeuksellisista mittaustuloksista ja arviot tulosten luotettavuudesta
- Tiedot säähavaintoanturien ja -mastojen tarkistuksesta ja huollosta
- Havaitut häiriöt sähköjakelussa kuten sähkökatkokset ja mahdolliset jännitevaihtelut
- Havainnot poikkeuksellisista sääolosuhteista
- Havainnot ympäristön häiritsevästä toiminnoista (työmaa, rakennustoiminta, poikkeukselliset liikenneuhkat tms.) ja niiden kestosta

LAADUNVARMISTUSTOIMENPITEET

Seuraavilla sivuilla on esitelty standardien mukaiset laadunvarmistustoimenpiteet alla mainittujen kaasumaisten ilman epäpuhtauksien mittauksille sekä jatkuvatoimisille hiukkaslaitteille:

- standardi SFS-EN 14211:2012 (NO-NO₂)
- standardi SFS-EN 14212:2012 (SO₂)
- standardi SFS-EN 14625:2012 (O₃)
- standardi SFS-EN 14626:2012 (CO)
- standardi SFS-EN 12341:2014 (PM₁₀ ja PM_{2,5})
- standardi SFS-EN 16450:2017 (PM₁₀ ja PM_{2,5})

NO-NO₂-mittausten laadunvarmistustoimenpiteet

Kalibrointi, tarkistukset ja huollot	Toimenpideväli	Toimenpidekriteerit	Toimenpiteet
Analysaattorin kalibrointi	Vähintään 3 kk välein ja huollon jälkeen Toimenpideväli voidaan pidentää kuuteen kuukauteen tietyin kriteerein (ks. luku 4.5.3)	Nolla- tai span-liukuma ylittää käyttäjän kriteerit	Kalibrointi
Toistettavuus analysaattorin nolla- ja span-pitoisuudessa	Kalibroinnin yhteydessä käyttäen kalibrointidataa	<i>Nollapitoisuudessa:</i> Std $\geq 1,0$ nmol/mol <i>Span-pitoisuudessa:</i> Std $\geq 0,75$ % span-pitoisuudesta	Laitteen huolto Huolto- ja säätötoimenpiteiden jälkeen laite on kalibroitava.
Nolla- ja span-tarkistuksen kaasujen verifiointi	Vähintään 6 kk välein	Nollakaasun pitoisuus \geq havaintoraja Span-kaasun liukuma edellisestä verifiointista ≥ 5 %	Span- ja nollakaasun tuottamiseen käytettävän laitteen huolto
Nolla- ja span-tarkistukset	Vähintään 2 viikon välein <i>Suositus:</i> 23 tai 25 tunnin välein	Nolla $\leq -4,0$ tai $\geq 4,0$ nmol/mol Span-pitoisuuden poikkeama $\geq 5,0$ % alkuperäisestä span-pitoisuudesta ja NO _x ja NO kanavan välinen poikkeama $\leq 5,0$ %	Analysaattorin kalibrointi
Lineaarisuus	Vuoden kuluessa mittausten aloittamisesta sekä korjaustoimenpiteiden jälkeen Jatkossa: a) kerran vuodessa, jos mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta on välillä 2,0 % ja 4,0 % b) 3 vuoden välein, jos mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta $\leq 2,0\%$	Mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta $> 4,0$ % Nollan poikkeama regressiosuoralta $> 5,0$ nmol/mol	Analysaattorin lisätestaukset ja tarvittaessa huolto
Konvertterin hyötysuhde	Vähintään kerran vuodessa	< 95 % , ks. luku 4.5.4	Konvertterin vaihto
Näytesondin testaus a) pumpusta aiheutuvan paineen pudotuksen vaikutus b) keräystehokkuus	Vähintään 3 vuoden välein	a) vaikutus $\geq 1,0$ % mitatusta arvosta b) vaikutus $\geq 2,0$ % mitatusta arvosta	a) Näytesondin virtaustauksen nosto siten, että kriteerit täyttyvät b) Näytesondin puhdistus/ vaihto/korjaus ja uudelleentestaus
Etusuodattimen vaihto	Riippuen testin tuloksesta (luku 4.5.5), mutta kuitenkin vähintään 3 kk välein	Suodattimen vaikutus mitatun kaasun pitoisuuteen > 3 %	Etusuodattimen vaihto
Näytelinjojen testaus	Vähintään 6 kk välein riippuen sijaintipaikan ominaisuuksista	$\geq 2,0$ % näytehäviö	Näyteletkujen vaihto tai puhdistus vähintään 6 kk välein
Kuluvien osien vaihto ja muut rutiinihuoltotoimenpiteet	Laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti	Laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti	Laitteiden huolto laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti

SO₂-mittausten laadunvarmistustoimenpiteet

Kalibrointi, tarkistukset ja huollot	Toimenpideväli	Toimenpidekriteerit	Toimenpiteet
Analysaattorin kalibrointi	Vähintään 3 kk välein ja huollon jälkeen Toimenpideväli voidaan pidentää kuuteen kuukauteen tietyin kriteerein (ks. luku 4.5.3)	Nolla- tai span-liukuma ylittää käyttäjän kriteerit	Kalibrointi
Toistettavuus analysaattorin nolla- ja span-pitoisuudessa	Kalibroinnin yhteydessä käyttäen kalibrointidataa	<i>Nollapitoisuudessa:</i> Std $\geq 1,0$ nmol/mol <i>Span-pitoisuudessa:</i> Std $\geq 1,5$ % span-pitoisuudesta	Laitteen huolto Huolto- ja säätötoimenpiteiden jälkeen laite on kalibroitava.
Nolla- ja span-tarkistuksen kaasujen verifiointi	Vähintään 6 kk välein	Nollakaasun pitoisuus \geq havaintoraja Span-kaasun liukuma edellisestä verifiointista ≥ 5 %	Span- ja nollakaasun tuottamiseen käytettävän laitteen huolto
Nolla- ja span-tarkistukset	Vähintään 2 viikon välein Suositus: 23 tai 25 tunnin välein	Nolla $\leq -4,0$ tai $\geq 4,0$ nmol/mol Span-pitoisuuden poikkeama $\geq 5,0$ % alkuperäisestä span-pitoisuudesta	Analysaattorin kalibrointi
Lineaarisuus	Vuoden kuluessa mittausten aloittamisesta sekä korjaustoimenpiteiden jälkeen Jatkossa: a) kerran vuodessa, jos mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta on välillä 2,0 % ja 4,0 % b) 3 vuoden välein, jos mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta on $\leq 2,0$ %	Mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta $> 4,0$ % Nollan poikkeama regressiosuoralta $> 5,0$ nmol/mol	Analysaattorin lisätestaukset ja tarvittaessa huolto
Näytesondin testaus a) pumpusta aiheutuvan paineen pudotuksen vaikutus b) keräystehokkuus	Vähintään 3 vuoden välein	a) vaikutus $\geq 1,0$ % mitatusta arvosta b) vaikutus $\geq 2,0$ % mitatusta arvosta	a) Näytesondin virtaustauksen nosto siten, että kriteerit täyttyvät b) Näytesondin puhdistus/ vaihto/korjaus ja uudelleentestaus
Etusuodattimen vaihto	Riippuen testin tuloksesta (4.5.5), mutta kuitenkin vähintään 3 kk välein	Suodattimen vaikutus mitatun kaasun pitoisuuteen > 3 %	Etusuodattimen vaihto
Näytelinjojen testaus	Vähintään 6 kk välein riippuen sijaintipaikan ominaisuuksista	$\geq 2,0$ % näytehäviö	Näyteletkujen vaihto tai puhdistus vähintään 6 kk välein
Kuluvien osien vaihto ja muut rutiinihuoltotoimenpiteet	Laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti	Laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti	Laitteiden huolto laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti

O₃-mittausten laadunvarmistustoimenpiteet

Kalibrointi, tarkistukset ja huollot	Toimenpideväli	Toimenpidekriteerit	Toimenpiteet
Analysaattorin kalibrointi	Vähintään 3 kk välein ja huollon jälkeen Toimenpideväli voidaan pidentää kuuteen kuukauteen tietyin kriteerein (ks. luku 4.5.3)	Nolla- tai span-liukuma ylittää käyttäjän kriteerit	Kalibrointi
Toistettavuus analysaattorin nolla- ja span-pitoisuudessa	Kalibroinnin yhteydessä käyttäen kalibrointidataa	<i>Nollapitoisuudessa:</i> Std $\geq 1,5$ nmol/mol <i>Span-pitoisuudessa:</i> Std $\geq 2,0$ % span-pitoisuudesta	Laitteen huolto Huolto- ja säätötoimenpiteiden jälkeen laite on kalibroitava.
Nollakaasun ja span-pitoisuuden tuoton verifiointi	Vähintään 3 kk välein analysaattorin kalibroinnin yhteydessä	Nollakaasun pitoisuus \geq havaintoraja Span-kaasun liukuma edellisestä verifiointista ≥ 5 %	Span- ja nollakaasun tuottamiseen käytettävän laitteen huolto
Nolla- ja span-tarkistukset	Vähintään 2 viikon välein <i>Suositus:</i> 23 tai 25 tunnin välein	Nolla $\leq -4,0$ tai $\geq 4,0$ nmol/mol Span-pitoisuuden poikkeama $\geq 5,0$ % alkuperäisestä span-pitoisuudesta	Otsonilähteen tarkistus Analysaattorin uudelleenkalibrointi, mikäli otsonilähteen liukuma ≤ 5 %
Lineaarisuus	Vuoden kuluessa mittausten aloittamisesta sekä korjaustoimenpiteiden jälkeen Jatkossa: c) kerran vuodessa, jos mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta on välillä 2,0 % ja 4,0 % d) 3 vuoden välein, jos mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta on $\leq 2,0$ %	Mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta $> 4,0$ % Nollan poikkeama regressiosuoralta $> 5,0$ nmol/mol	Analysaattorin lisätestaukset ja tarvittaessa huolto
Näytesondin testaus a) pumpusta aiheutuvan paineen pudotuksen vaikutus b) keräystehokkuus	Vähintään 3 vuoden välein	a) vaikutus $\geq 1,0$ % mitatusta arvosta b) vaikutus $\geq 2,0$ % mitatusta arvosta	a) Näytesondin virtaustauksen nosto siten, että kriteerit täyttyvät b) Näytesondin puhdistus/ vaihto/korjaus ja uudelleentestaus
Etusuodattimen vaihto	Riippuen testin tuloksesta (4.5.5), mutta kuitenkin vähintään 3 kk välein	Suodattimen vaikutus mitatun kaasun pitoisuuteen > 3 %	Etusuodattimen vaihto
Näytelinjojen testaus	Vähintään 6 kk välein riippuen sijaintipaikan ominaisuuksista	$\geq 2,0$ % näytehäviö	Näyteletkujen vaihto tai puhdistus vähintään 6 kk välein
Kuluvien osien vaihto ja muut rutiinihuoltotoimenpiteet	Laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti	Laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti	Laitteiden huolto laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti

CO-mittausten laadunvarmistustoimenpiteet

Kalibrointi, tarkistukset ja huollot	Toimenpideväli	Toimenpidekriteerit	Toimenpiteet
Analysaattorin kalibrointi	Vähintään 3 kk välein ja huollon jälkeen Toimenpideväli voidaan pidentää kuuteen kuukauteen tietyin kriteerein (ks. luku 4.5.3.)	Nolla- tai span-liukuma ylittää käyttäjän kriteerit	Kalibrointi
Toistettavuus analysaattorin nolla- ja span-pitoisuudessa	Kalibroinnin yhteydessä käyttäen kalibrointidataa	<i>Nollapitoisuudessa:</i> Std $\geq 0,5 \mu\text{mol/mol}$ <i>Span-pitoisuudessa:</i> Std $\geq 3,0 \%$ span-pitoisuudesta	Laitteen huolto Huolto- ja säätötoimenpiteiden jälkeen laite on kalibroitava.
Nolla- ja span-tarkistuksen kaasujen verifiointi	Vähintään 6 kk välein	Nollakaasun pitoisuus \geq havaintoraja Span-kaasun liukuma edellisestä verifioinnista $\geq 5 \%$	Span- ja nollakaasun tuottamiseen käytettävän laitteen huolto
Nolla- ja span-tarkistukset	Vähintään 2 viikon välein Suositus: 23 tai 25 tunnin välein	Nolla $\leq -0,5$ tai $\geq 0,5 \mu\text{mol/mol}$ Span-pitoisuuden poikkeama $\geq 5,0 \%$ alkuperäisestä span-pitoisuudesta	Analysaattorin kalibrointi
Lineaarisuus	Vuoden kuluessa mittausten aloittamisesta sekä korjaustoimenpiteiden jälkeen Jatkossa: a) kerran vuodessa, jos mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta on välillä $2,0 \%$ ja $4,0 \%$ b) 3 vuoden välein, jos mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta on $\leq 2,0 \%$	Mitatun pisteen poikkeama regressiosuoralta $> 4,0 \%$ Nollan poikkeama regressiosuoralta $> 0,5 \mu\text{mol/mol}$	Analysaattorin lisätestaukset ja tarvittaessa huolto
Näytesondin testaus a) pumpusta aiheutuvan paineen pudotuksen vaikutus b) keräystehokkuus	Vähintään 3 vuoden välein	a) vaikutus $\geq 1,0 \%$ mitatusta arvosta b) vaikutus $\geq 2,0 \%$ mitatusta arvosta	a) Näytesondin virtaustauksen nosto siten, että kriteerit täyttyvät b) Näytesondin puhdistus/ vaihto/korjaus ja uudelleentestaus
Etusuodattimen vaihto	Riippuen testin tuloksesta (4.5.5), mutta kuitenkin vähintään 3 kk välein	Suodattimen vaikutus mitatun kaasun pitoisuuteen $> 3 \%$	Etusuodattimen vaihto
Näytelinjojen testaus	Vähintään 6 kk välein riippuen sijaintipaikan ominaisuuksista	$\geq 2,0 \%$ näytehäviö	Näyteletkujen vaihto tai puhdistus vähintään 6 kk välein
Kuluvien osien vaihto ja muut rutiinihuoltotoimenpiteet	Laittevalmistajan vaatimusten mukaisesti	Laittevalmistajan vaatimusten mukaisesti	Laitteiden huolto laittevalmistajan vaatimusten mukaisesti

PM₁₀- ja PM_{2,5}-mittausten laadunvarmistustoimenpiteet vertailumenetelmälle

Kalibrointi, tarkistukset ja huollot	Toimenpideväli	Testipaikka Laboratorio /Kenttä (L/K)	Toimenpidekriteerit ^(a)
Keräimen osien säännöllinen huolto	Laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti	L/K	
Lämpötila- ja paine-sensorien tarkistus ^(c)	Joka 3 kk ^(b)	K	± 3 °C ± 1 kPa
Lämpötila- ja paine-sensorien kalibrointi ^(c)	Kerran vuodessa	L/K	± 1,5 °C ± 0,5 kPa
Näytevirtauksen tarkistus	Joka 3 kk ^(b)	K	5 %
Näytevirtauksen kalibrointi	Kerran vuodessa	L/K	1 %
Näytelintojen vuototestaus	Kerran vuodessa	L/K	1 %
Nollatason tarkistus (näyttölukemasta)	Kerran vuodessa	L/K	± 3 µg/m ³
Punnitushuoneen lämpötila- ja kosteussensorien tarkistus	Joka 6 kk	L	± 1 °C ± 3 % RH
Punnitushuoneen lämpötila- ja kosteussensorien kalibrointi	Kerran vuodessa	L	
Punnitushuoneen vaa'an kalibrointi	Kerran vuodessa	L	
^(a) Suhteessa nimellisarvoon ^(b) Toimenpidevälejä voidaan pidentää, kun riittävä aineisto osoittaa tämän mahdolliseksi. Kalibrointi pitää tehdä kerran vuodessa ^(c) Joillekin laitteille sensorien tarkistus tai kalibrointi ei ole mahdollinen kenttäoloissa. Tällöin tarkistukset kohdistetaan sensoreihin, joihin ko. toimenpide voidaan suorittaa kenttäoloissa. Vuositarkastuksessa sensorien tarkistus ja kalibrointi voidaan suorittaa laboratoriossa mittanormaalia vastaan. Tarkistukset ja kalibroinnit tehdään silloin, kun ne ovat tehtävissä ilman että aiheutetaan vaaraa laitteen toiminnalle.			

Jatkuvatoimisten PM₁₀- ja PM_{2,5}-mittausten laadunvarmistustoimenpiteet

Kalibrointi, tarkistukset ja huollot	Toimenpideväli ^(a)	Testipaikka Laboratorio /Kenttä (L/K)	Toimenpidekriteerit ^(b)	Käytettävän mittanormaanin sallittu mittausepävarmuus
Toimintaparametrien status	Arkipäivisin	L/K	Ks. alla	
Lämpötila, paine ja kosteussensorien tarkistus ^(c)	Joka 3 kk	K	± 2 °C ± 1 kPa 5 % RH	
Lämpötila, paine ja kosteussensorien kalibrointi ^(c)	Kerran vuodessa	L/K		1,5 °C 0,5 kPa 3 % RH
Näytevirtauksen tarkistus	Joka 3 kk	K	± 5 %	2 %
Näytevirtauksen kalibrointi	Kerran vuodessa	L/K		1 %
Näytelinjojen vuototestaus	Kerran vuodessa	L/K	± 2 %	
Nollatason tarkistus (näyttölukemasta)	Kerran vuodessa	L/K	± 3 µg/m ³	
Massapitoisuuden mittaussysteemin tarkistus	Laitevalmistajan ohjeen mukaisesti ja aina korjauksen jälkeen kuitenkin vähintään kerran vuodessa	L/K	Laitevalmistajan antaman kriteerin mukaan tai kun muutos ± 3 %	
Kuluvien osien vaihto ja muut rutiinihuoltotoimenpiteet	Laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti	L/K	Laitevalmistajan vaatimusten mukaisesti	
^(a) Toimenpidevälejä voidaan pidentää, kun on riittävä aineisto osoittaa tämän mahdolliseksi ^(b) Suhteessa nimellisarvoon ^(c) Joillekin laitteille sensorien tarkistus tai kalibrointi ei ole mahdollinen kenttäoloissa. Tällöin tarkistukset kohdistetaan sensoreihin, joihin ko. toimenpide voidaan suorittaa kenttäoloissa. Vuositarkistuksessa sensorien tarkistus ja kalibrointi voidaan suorittaa laboratoriossa mittanormaalia vastaan. Tarkistukset ja kalibroinnit tehdään silloin, kun ne ovat tehtävissä ilman että aiheutetaan vaaraa laitteen toiminnalle.				

Excelpohja lineaarisuustestille ja havaintorajan laskemiseksi (toimintarajat NO:lle)										
		Mitattu keskiarvo (y) (µg/m³)	Keskihajont a (µg/m³)	Keskihajonta (µg/m³) ZERO	Lineaarisuus (ug/m3) ZERO	Keskihajont a (%) SPAN	Lineaarisuus (%) SPAN	Havaintoraj a (µg/m³)	Jäljitetyt pitoisuudet (c) (µg/m³) c	Kalibrointiyhtälö ö (y=B·c + A)
		0.2	0.061	0.06	0.3			0.20	0.00	B:
		515.3	0.694		Administrator: =C4-(K5*J4+K7)	0.13	-0.06		14.7	1.0019
		64.2	0.130			0.20	-2.20		35.6	A:
		194.8	0.387			0.20	0.57		193.4	-0.0347
		129.9	0.242		Administrator: =(D5/C5)*100	0.19	0.33		129.3	
							Administrator: =((C5-(\$K\$5*J5+\$K\$7))/J5)*100			
Toimintaraja	-	-	-	≥ 1.25 ug/m3	> 6.3 ug/m3 < 6.3 ug/m3	≥ 0.75 %	< 4.0 %	-		
Täydennä kalteisella maalatut kohdat:										
Syötä kalibroitavan laitteen mittauspisteiden pitoisuuksien keskiarvot (sarake C) ja keskihajonnat (sarake D) ko. sarakkeisiin										
Syötä jäljitetyt pitoisuudet (sarake J) ja kalibrointiyhtälön kerroin B ja vakiotermi A										

MITTAUSEPÄVARMUUDEN LASKEMINEN

Mittausepävarmuus NO-NO₂ kenttämittauksille tyyppitestaustulosten perusteella

Ohjelma: <http://ilmatieteenlaitos.fi/raportit-ja-lomakkeet>

EN 14211:2012 Ambient air quality. Standard method for the measurement of NO and NO ₂						
NO ₂			Hourly		Annual	
Test results and uncertainty calculation results (Field)			The requirement is fulfilled		The requirement is fulfilled	
Version			13,5 %		14,0 %	
Analyzer: Casella ML2041			U _{1,me} = 14,0		2,95	
TVV report			u ₁ = 7,0		1,48	
			nmol/mol		nmol/mol	
Type: approval test: the worst value (greater) of the two analyses						
Lab test						
Field test						
Site specific						
Table 1. Relevant performance characteristic and criteria						
	Test	Concentration	Test results	Performance criterion for NO-NO ₂	Hourly	Annual
		C _t			u(nmol/mol)	u(nmol/mol)
1	Repeatability standard deviation at zero		s _{0,1} = 0,19	≤ 1,0 nmol/mol	0,02	0,00
2	Repeatability standard deviation at concentration C ₁	500	s _{0,1} = 0,18	≤ 3,0 nmol/mol	0,00	0,00
3	Lack of fit		X ₀ = 0,84	≤ 4,0 % measured value	0,50	0,10
4	Sensitivity coefficient of sample gas pressure	720	b _p = 1,97	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	4,98	1,00
5	Sensitivity coefficient of sample gas temperature	720	b _T = 0,45	≤ 3,0 nmol/mol/K	1,13	0,00
6	Sensitivity coefficient of surrounding temperature	720	b _s = 0,24	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,60	0,12
7	Sensitivity coefficient of electrical voltage	720	b _v = 0,006	≤ 0,3 nmol/mol/V	0,02	0,00
8	Interferents at zero and concentration C ₁					
8a	H ₂ O content: 19 nmol/mol	500	X _{H2O,0} = 0,3 X _{H2O,1} = -0,57	≤ 5,0 nmol/mol	0,07	0,16
8b	CO ₂ concentration 500 umol/mol	500	X _{CO2,0} = 0,5 X _{CO2,1} = 0,43	≤ 5,0 nmol/mol	0,40	0,42
8c	NH ₃ concentration 200 nmol/mol	500	X _{NH3,0} = 0,24 X _{NH3,1} = 1,41	≤ 5,0 nmol/mol	0,48	0,27
9	Averaging effect		X _{av} = -1,31	≤ 7,0 % measured value	-0,79	-0,16
10	Reproducibility standard deviation under field condition		s _{0,1} = 3,55	≤ 5,0 % 3 month average	3,88	0,01
11	Long term drift at zero		D ₀ = 0,58	≤ 5,0 nmol/mol	0,33	0,39
12	Long term drift at span level		D ₁ = 2,55	≤ 5,0 % max certification range	1,53	0,36
13	Response time (rise)		t _{0,10} = 33	≤ 180 s		
14	Response time (fall)		t _{0,10} = 33	≤ 180 s		
15	Difference sample/calib. port		D ₀₁ = -0,25	≤ 1,0 %	0,24	0,05
21	Converter efficiency		E _{0,1} = 99,5	≥ 99,0 %	2,06	0,42
23	Uncertainty of calibration gas		u _{0,1} = 2,0 %	≤ 5 %	1,04	0,21
24	Uncertainty of zero gas		u _{0,1} = 0,5	≤ 5 nmol/mol	0,60	0,60

Tyyppitetausraportista, esim www.gal1.de
936/21221977/A Tabelle 38/39.

- Testipitoisuus: jos ei ole ilmoitettu, käytetään tässä olevat arvot
 - Testiarvot: valitaan huonompi laite
- Huom: Testeissä saatuja arvoja ei saa muuttaa

Analysaattorin kalibrointi mittausasemalla:
Kalibrointitodistuksesta

kirjataan arvo konverterin hyötysuhteesta eff(%)

kirjataan arvo kalibroinnin epävarmuudesta, u

kirjataan arvo laimennuskaasun/nollakaasun mittausepävarmuudesta, u

Table 2. Site specific conditions related to physical influences					
	Type approval			Calibration condition	
	lower	upper	range	unit	
Sample pressure variation	80	110	30		kPa
Sample gas temperature variation	273	303	30		°K
Surrounding air temperature variation	273	303	30		°K
Voltage variation	210	240	30		V

Table 3. Site specific conditions related to chemical influences/interferents					
		Site specific			
		hlv		alv	
		lower	upper	lower	upper
		C _{int, min}	C _{int, max}	C _{int, min}	C _{int, max}
H ₂ O	mmol/mol	6	19	6	19
CO ₂	umol/mol	300	400	300	400
NH ₃	nmol/mol	50	300	50	300

Table 4. Site specific conditions related to operational parameters					
		Site specific			
		±			
Uncertainty in calibration gas		± 2.0 %			
Number of valid hourly measurements in year		8 055		Availability of the analyser criteria is > 90%	
Calibration frequency (times per year)		3			
Purity of zero gas		0.6		nmol/mol	

Table 5. Test concentrations of measurand					
hlv, hourly limit value		104		nmol/mol	
c _h at a level of the hourly limit value		300		nmol/mol	
alv, annual limit value		21		nmol/mol	

Nämä arvot kirjataan mittausaseman tiedoista

- Sample pressure variation: ulkoilman paineen vaihteluväli
- Sample gas temperature: Tämä vastaa samaa lämpötilaa kuin mittausaseman sisälämpötila, jos on vakioitu
- Surrounding air temperature: mittausaseman sisälämpötilan vaihteluväli esim vakiointi ilmastointilaitteella
- Syöttöjännitteen vaihteluväli: UPS/ Sähkölaitoksen ilmoitus

Nämä arvot kirjataan mittausaseman tiedoista

- Ulkoilman vesipitoisuus: jos ei tarkempaa tietoa, käytetään annettuja arvoja
- Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus: Esim Ilmatieteen laitos tai sitten käytetään annettua vaihteluväliä
- Ammoniakin määrä ilmassa: Ilmatieteen laitos/tausta-asemien pitoisuudet NH₃ maaseutu/kaupunki

Nämä arvot kirjataan mittausaseman tiedoista

- Kenttäkalibrointiin mittausepävarmuus: kalibrointitodistus
- Kirjataan kalibrointien lkm/vuosi
- Nollakaasun epäpuhtaus: kalibrointitodistus

Nämä arvot kirjataan kirjataan sellaisinaan

- Testipitoisuus, jos tiedossa kirjataan riveille: 2, 4 - 7, 8a - 8c

ESIMERKKI VUOSIRAPORTIN RUNGOSTA

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO

Taustatietoja, esimerkiksi

- mittausverkon ilmanlaadun seurannan kuvaus
- mittausten tavoite
- ilmanlaadun tarkkailuorganisaatio
- tutkimuksen rahoittajat
- tutkimuksen yhteistyötahot

2 MITTAUSTOIMINTA

Mittaustoiminnan kuvaus

- mitatut epäpuhtaudet ja suureet
- mittausten kesto
- mittausalueet ja -paikat sekä niiden sijainti toisiinsa ja päästöihin nähden (kartta)
- mittausmenetelmät ja -laitteet ja niiden valintaperusteet
- mittaustulosten siirto, käsittely ja taltiointi
- mittausten laadunvarmistus

3 PÄÄSTÖT

Päästölähteiden (piste-, pinta-, ja liikennepäästöt) kuvaus

- sijainti mittauspisteisiin nähden
- päästömäärät ja päästöjen luonne
- päästöhäiriöt ja muut poikkeamat (seisokit yms.)
- päästöjen kehityssuunta
- ilmansuojelutoimet, jotka voivat vaikuttaa tuloksiin

4 SÄÄ

Mittausvuoden sää ja sen poikkeamat pitkäaikaistilanteeseen nähden

5 TARKKAILTAVAT EPÄPUHTAUDET

- ilmanlaadun tavoitteet ja niihin vertaaminen
- epäpuhtauksien pitoisuustasot Suomessa
- terveys- ja luontovaikutukset

6 TULOKSET

6.1 Mitatut pitoisuudet

- tunti-, vuorokausi-, kuukausi- ja vuosikeskiarvot
- ajallinen vaihtelu (vuorokausi-, viikonpäivä-, kuukausi- ja vuosivaihtelu)
- ilmanlaatuindeksi

6.2 Mittaustulosten vertaaminen ilmanlaadun tavoitteisiin

- raja-, tavoite ja ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet
- ilmanlaatatavoitteiden ylitykset

7 TULOSTEN ARVIOINTI

7.1 Pitoisuuksien arviointi

- ylitysten syyt
- eri päästölähteiden vaikutus pitoisuuksiin (paikalliset lähteet, kaukokulkeuma)
- säätekijöiden vaikutus mittaustuloksiin (esim. saasteruusut)
- poikkeuksellisen korkeiden pitoisuuksien jaksot
- pitoisuuksien kehityssuunta
- pitoisuuksien vertailu mittauspaikoittain

7.2 Tulosten luotettavuus

- laitteiden toiminta
(Miten laitteistot ovat toimineet? Onko kalibroinnit ja muu laadunvarmennus tehty suunnitelmien mukaisesti? Mikä on mahdollisten poikkeamien vaikutus mittaustulosten luotettavuuteen?)
- häiriöt
(Onko ollut mittauksia häiritseviä tekijöitä, jotka olisivat vaikuttaneet mittaustuloksiin, esim. ilkivalta, sähkökatkot?)

8 YHTEENVETO

9 PÄÄTELMÄT

Arvio ilmansuojelutilanteesta ja esitykset mahdollisiksi toimiksi.

LIITTEET

- mittauspaikkakuvaukset karttoineen
- mittaustuloksia soveltuvien osien

TIEDOTUS- TAI VAROITUSKYNNYSTEN YLITTYESSÄ YLEISÖLLE ANNETTAVAT TIEDOT

1. Tiedot havaitusta ylityksestä:
 - paikka tai alue, jossa ylittyminen on tapahtunut
 - tieto siitä, onko kysymyksessä tiedotus- vai varoituskynnyksen ylittyminen
 - ylittymisen alkamisaika ja kesto
 - suurin tuntikeskiarvo ja otsonin osalta lisäksi suurin kahdeksan tunnin keskiarvo
2. Ennuste seuraavaksi iltapäiväksi tai yhdeksi tai useammaksi vuorokaudeksi
 - alue, jota tiedotus- tai varoituskynnyksen odotettavissa oleva ylittyminen koskee
 - odotettavissa olevat muutokset pitoisuudessa (paraneminen, vakiintuminen tai huononeminen) sekä odotettavissa olevien muutosten syyt
3. Tiedot asianomaisista väestöryhmistä ja mahdollisista terveysvaikutuksista sekä suositeltavista varotoimista:
 - tiedot väestöryhmistä, jotka voivat saada ylityksistä terveyshaittoja
 - todennäköisten oireiden kuvaus
 - suositukset kyseisiä väestöryhmiä koskeviksi varotoimiksi
 - tiedot lisätietojen antajista
4. Tiedot ennaltaehkäisevistä toimista pitoisuuden tai sille altistumisen vähentämiseksi:
 - toiminnot ja toimialat, joilla suoria päästöjä tai otsonin muodostumiseen vaikuttavia päästöjä syntyy eniten
 - toimintasuosituksia päästöjen vähentämiseksi



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

ILMATIETEEN LAITOS

Erik Palménin aukio 1

00560 Helsinki

puh. 029 539 1000

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

ILMATIETEEN LAITOS

RAPORTTEJA 2017:6

ISBN 978-952-336-033-4 (pdf)

ISSN 0782-6079

Helsinki 2017

